

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáž

**RACIONALIZACE VÝROBY VYBRANÝCH
SOUČÁSTÍ**

Production Rationalization of Chose Parts

Student:

Bc. Radim Klosík

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radim Klosík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Racionalizace výroby vybraných součástí**
Production Rationalization of Chosen Parts

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Problematika přesného obrábění.
3. Současný stav řešení problematiky.
4. Návrh nových technických řešení.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

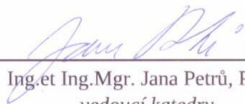
- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013
Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 19. 5. 2014



Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Radim Klosík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Štefánikova 1163/12, Kopřivnice, PSČ 742 21

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Kopřivnici dne 19. května 2014



Bc. Radim Klosík

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování vedoucímu Diplomové práce doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné připomínky a rady.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KLOSÍK, Radim. *Racionalizace výroby vybraných součástí: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 50 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá racionalizací výroby litých kol. V úvodu se zabývá obecným seznámením s problematikou třískového obrábění. Poté práce pojednává o hliníku, z jehož slitin jsou litá kola vyráběna. V další fázi práce popisuje průběh výroby litých kol od slévárny přes obrobnu až po lakovnu. A nakonec se zabývá testy vrtáků na šroubových a servisních otvorech.

Klíčová slova: obrábění, vrták, racionalizace, litá kola

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KLOSÍK, Radim. *Production Rationalization of Chose Parts: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Katedra obrábění a montáže, 2014, p. 50. Thesis head: doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

This thesis deals with the rationalization of the production of alloy wheels. The introduction deals with a general introduction to the issue of cutting. After work deals with the aluminum of the alloy cast wheels are manufactured. In the next phase of the work describes the process of production of alloy wheels from the foundry through machine shop to the paint shop. And finally deals with tests on drill screw holes and service.

Keywords: machining, drill, rationalization, alloy wheels

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teorie obrábění	2
2.1	Rozdělení metod obrábění	2
2.1.1	Řezný nástroj.....	3
2.1.2	Pohyby při obrábění	3
2.2	Vrtání	5
3	Řezné materiály vrtacích nástrojů.....	6
3.1	Slinuté karbidy (SK)	6
3.1.1	Nepovlakované slinuté karbidy	7
3.1.2	Povlakované slinuté karbidy	8
3.1.3	PKD-polykrystalický diamant	8
4	Nástroje - vrtáky.....	10
4.1	Šroubovitě vrtáky.....	10
5	Řezné prostředí.....	13
5.1	Suché obrábění.....	13
5.2	Řezné kapaliny.....	13
5.2.1	Emulzní kapaliny	13
5.2.2	Syntetické a polysyntetické kapaliny	14
5.3	Přívod řezné kapaliny do místa řezu.....	14
5.3.1	Vnitřní chlazení.....	14
6	Měřidla	16
6.1	Základní měřidla	16
6.1.1	Kalibry	16
6.1.2	Komunální měřidla.....	16
7	Slitiny hliníku.....	17
7.1	Fyzikální vlastnosti hliníku.....	17

7.2	Vliv legujících prvků na vlastnosti slitin hliníku.....	17
7.3	Obrobitelnost hliníku a slitin hliníku	18
7.3.1	Slévárenské slitiny	18
7.4	Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin	19
7.4.1	Precipitační zpevnění – vytvrzování	19
8	Proces výroby litých kol v Cromodora	20
8.1	Slévárna	20
8.2	Obrobna	21
8.3	Lakovna	27
9	Testy vrtáků.....	30
9.1	Rozvaha možných příčin a řešení	30
9.2	Vrtání servisních otvorů.....	31
9.2.1	Původní vrták	32
9.2.2	Testovaný vrták.....	33
9.2.3	Test č. 1	34
9.2.4	Test č. 2	35
9.2.5	Test č. 3	37
9.2.6	Test č. 4	38
9.2.7	Test č. 5	39
9.2.8	Test č. 6	39
9.2.9	Test č. 7	40
9.2.10	Test č. 8 - TRITAN	41
9.2.11	Kontrola na 3D měřícím zařízení	43
9.3	Vrtání hlavních šroubových otvorů	43
9.3.1	Původní vrták	43
9.3.2	Testovaný vrták.....	44
9.4	Obrábění ventilku	48
10	Závěr	50

SEZNAM Použité literatury	51
SEZNAM Obrázků.....	53
SEZNAM Tabulek	55
SEZNAM Příloh.....	56

SEZNAM ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Popis	Jednotka
s.r.o	společnost s ručením omezeným	
SNOP	soustava-stroj, nástroj, obrobek, přípravek	
aj.	a jiné	
atd.	a tak dále	
např.	Například	
Vc	řezná rychlost	m/min.
H	úhel řezného pohybu	°
Pfe	pracovní rovina boční	
Ve	okamžitá rychlost výsledného pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku	m/min.
Vf	rychlost posuvu (minutový posuv)	mm/min.
n	otáčky	ot./min.
D	Průměr	Mm
f	posuv na 1 otáčku	mm/ot.
fz	posuv na 1 zub	mm/z.
z	počet zubů (břitů)	
SNO	soustava-stroj, nástroj, obrobek	
WC	karbid wolframu	
TiC	karbid titanu	
TaC	karbid tantalu	
NbC	karbid niobu	
Co	Kobalt	
ČSN	česká technická norma	
SK	slinutý karbid	
PKD	polykrystalický diamant	
er	úhel špičky	
DM	suché obrábění	
Rm	mez pevnosti	Mpa
A	Tažnost	%
Al2O3	oxid hlinitý	
Si	Křemík	
Mg	Hořčík	
Al	Hliník	
Cu	Měď	
Ti	Titan	
B	Bor	
Rtg	Rentgen	
NaOH	hydroxid sodný	
KOH	hydroxid draselný	

H ₃ PO ₄	kyselina fosforečná	
RTO	spalovací jednotka regenerativní termické oxidace	
cycle time	čas jednoho obráběcího cyklu	
TiAlN	povlak titan aluminium nitrid	
HA	hladká stopka	
TiB ₂	povlak titanborid	
IT	stupeň přesnosti	
PU 622	sorta slinutého karbidu	
ap	šířka záběru	mm
h	hloubka řezu	mm
NC	numericky řízené	
pH	vodíkový exponent	

1 ÚVOD

Technický pokrok v oboru obrábění se vyvíjí v posledních letech velmi rychle. S tímto technickým pokrokem vzrůstá také boj o konkurenceschopnost, která vyžaduje využití a vývoj nových technologií výroby. V prostředí automobilového průmyslu je také velice důležité udržovat vysokou jakost výrobků. Tato diplomová práce si klade za cíl pokusit se zefektivnit proces výroby litých kol ve firmách Cromodora wheels s. r. o. a Hayes Lemmerz Czech, s. r. o. Práce se bude v úvodních částech hlavně zabývat teoreticky problematikou třískového obrábění. V dalších částech se bude zabývat popisem průběhu litých kol a především praktickými testy vrtáků, které obrábí šroubové a servisní otvory.

2 TEORIE OBRÁBĚNÍ

Technologie obrábění zaujímá ve strojírenské výrobě významné místo. Umožňuje v mnoha technologických procesech vytvořit z polotovaru výrobek požadovaného tvaru, požadované rozměrové přesnosti a jakosti obrobených ploch. Obsahem této kapitoly jsou základní pojmy a definice z teorie procesu řezání.

Obrábění je technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti, a to odebíráním částic materiálu pomocí účinků mechanických, elektrických, chemických apod., případně jejich kombinacemi.

Řezání je obrábění, při kterém dochází k odebírání částic materiálu ve tvaru třísky břitem (ostřím, řeznou hranou) řezného nástroje.

Obrábění je realizováno v soustavě obrábění (SNOP). Tato soustava se skládá z následujících čtyř částí (rovněž se uvažují pouze tři části absentující přípravek): obráběcí stroj (S), řezný nástroj (N), obrobek (O), přípravek (P).

Obrobek představuje objekt obráběcího procesu a je to obráběná nebo již obrobená součást či dílec. Z geometrického hlediska je obrobek charakterizován rozměry a tvary jednotlivých ploch.

Přídavek je vrstva materiálu mezi obráběnou a obrobenou plochou obrobku, kterou je potřeba odstranit obráběním.

Odebíraná vrstva je část přídavku přikloněná k ploše řezu, která je odřezávaná jedním břitem ve formě třísky.

Tříska je odříznutá a deformovaná odebíraná vrstva materiálu obrobku. [12]

2.1 Rozdělení metod obrábění

Obráběcí metody lze dělit podle různých hledisek. Klasifikace metod obrábění využívá různé charakteristiky, jako je vzájemný kontakt nástroje s obrobkem, kombinace variant pohybů stroje, nástroje a obrobku.

Podle charakteru vykonávané práce na:

- ruční,
- strojní.

Ruční obrábění se rozumí práce vykonávané člověkem pomocí ručních nástrojů jako je sekání, pilování, zaškrabávání apod. Patří sem rovněž práce vykonávané pomocí ručně

ovládaných strojů, jako jsou ruční elektrické brusky, vrtačky aj. Při ručním obrábění je využívána fyzická síla a manuální zručnost pracovníka. Produktivita ručního obrábění má v současné době vzhledem ke stavu techniky nízkou úroveň. Svůj neopomenutelný význam má ruční obrábění především v údržbě a opravárenství.

V případě strojního obrábění je potřebná energie, která je přiváděna obvykle ve formě elektrické energie k obráběcímu stroji, kde se transformuje v energii mechanickou, využívanou pro realizaci obráběcího procesu.

Dělením obrábění podle charakteristických znaků břitové geometrie nástroje je:

- obrábění s definovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování aj.),
- obrábění s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování aj.), nekonveční metody obrábění (např. elektroerozivní, chemické, ultrazvukem, laserem, soustředěným paprskem),
- úpravy obrobených ploch (např. válečkování, leštění, hlazení, brokování). [12]

2.1.1 Řezný nástroj

Obráběcí nástroj je aktivním prvkem v soustavě obrábění. Právě nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Uskutečňuje řezání tím, že svou pracovní částí tj. břitem vniká do materiálu obrobku a odděluje z něho postupně částice ve tvaru třísky. [12]

2.1.2 Pohyby při obrábění

Hlavní řezný pohyb je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který realizuje obráběcí stroj. Směr hlavního řezného pohybu je definován jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří.

Řezná rychlost v_c je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.

Posuvový pohyb (vedlejší řezný pohyb) je realizován jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. U některých způsobů obrábění tento pohyb není.

Posuvová rychlost v_f je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku.

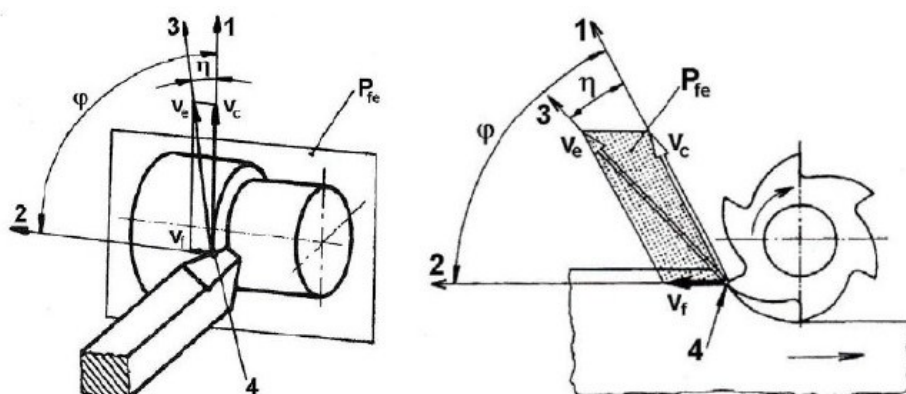
Výsledný řezný pohyb je vycházející pohyb ze současného hlavního a posuvového pohybu. Vznikne vektorovým součtem obou pohybů.

Rychlost výsledného řezného pohybu je okamžitá rychlost výsledného pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku.

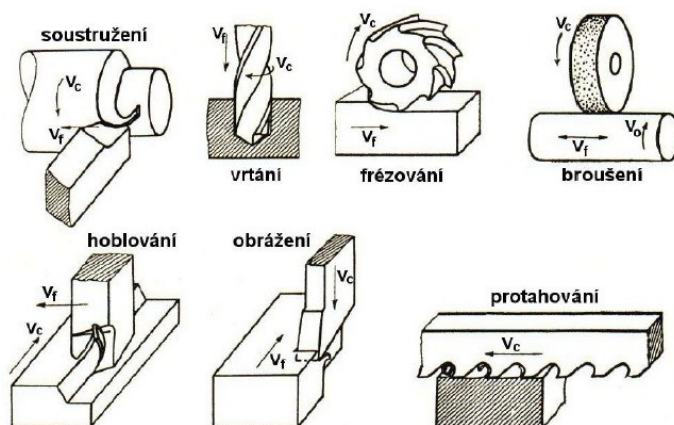
Úhel řezného pohybu η je úhel mezi směrem hlavního řezného pohybu a výsledného řezného pohybu v pracovní rovině boční Pfe.

Úhel posuvového pohybu φ lze vyjádřit jako úhel mezi směry současného posuvového pohybu a hlavního řezného pohybu v pracovní rovině boční Pfe. Pro některé obráběcí procesy není tento úhel definovaný, například pro hoblování, protahování.

Přísuv je pohyb nástroje nebo obrobku, kterým se nastavuje nástroj do pracovní polohy na požadovanou šířku záběru a_p (v praxi ještě stále používanou hloubku řezu h). [12]



Obr. č. 1- Pohyby nástroje a obrobku při podélném soustružení a nesousledném rovinném frézování válcovou frézou s přímými zuby (Pozn. 1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr řezného pohybu, 3, směr posuvového pohybu, 4 – uvažovaný bod ostří) [12]



Obr. č. 2 - Hlavní a posuvový pohyb u vybraných metod obrábění [12]

2.2 Vrtání

Je to výrobní metoda, kterou se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, atd.). Jako nástroj se používá vrták, který koná hlavní pohyb - rotační. Ve výjimečných případech vykonává hlavní pohyb obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný (ve směru osy nástroje), který vykonává také nástroj. Při samotném obrábění je osa vrtáku nejčastěji kolmá k obráběné ploše.

Charakteristickým rysem nástrojů na díry je, že se řezná rychlost zmenšuje od obvodu směrem ke středu nástroje, přičemž v ose nástroje má hodnotu nulovou. Za řeznou rychlost se proto považuje obvodová rychlost na maximálním průměru ostří nástroje a určujeme ji podobně jako u soustružení. [1]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m. min}^{-1}\text{]}$$

$$v_f = f \cdot n \text{ [mm. min}^{-1}\text{]}$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m. min}^{-1}\text{]}, \text{ kde}$$

v_c – řezná rychlost [m. min⁻¹],

v_f – posuvová rychlost [mm. min⁻¹],

v_e – rychlost řezného pohybu [m. min⁻¹],

D – průměr obráběné díry [mm],

n – otáčky vrtáku (případně obrobku) [min⁻¹],

f – posuv nástroje na jednu otáčku [mm].

Hodnota posuvu na zub lze určit ve vztahu.

$$f_z = \frac{f}{z} \text{ [mm]}, \text{ kde}$$

z – počet zubů (břitů) nástroje [-]. [1]

3 ŘEZNÉ MATERIÁLY VRTACÍCH NÁSTROJŮ

Řezné materiály jsou výsledkem intenzivních vývojových prací, které probíhaly hlavně ve 20. století. Operace obrábění řeznými nástroji, které například v roce 1900 vyžadovaly 100 minut, trvají dnes méně než minutu. Požadovaný stav obrobeného povrchu a přesnost rozměrů mohou ovlivnit volbu řezného materiálu, protože při použití některých řezných materiálů lze dosáhnout lepší kvality povrchu než s materiály jinými. Volba vhodného materiálu na řeznou část nástroje je z hlediska jeho funkce nejdůležitější. Podmínky, v kterých se nachází břit při odběru třísky, určují v podstatě požadavky na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti řezného materiálu.

Základní vlastnosti řezného materiálu:

- tvrdost převyšující nejméně o 5 až 6 HRC tvrdost obráběného materiálu,
- odolnost proti opotřebení při vysokých teplotách (až 1200°C),
- tepelná vodivost,
- pevnost v ohybu a houževnatost. [14]

3.1 Slinuté karbidy (SK)

Vrtáky ze slinutého karbidu jsou logickým důsledkem požadavků průmyslu na nástroje s vyšším výkonem, respektive lepší odolností proti opotřebení. Z tohoto důvodu má čím dál větší význam používání těchto nástrojů z SK na NC obráběcích strojích. Slinutý karbid je řezným materiálem, který je produktem práškové metalurgie a obsahuje tvrdé částice karbidu, které jsou vázány kovovým pojivem. I přes svou vysokou cenu a poměrně velkou křehkost došlo k jeho masovému rozšíření tak, že v současné době jsou společně s rychlořeznou ocelí základem výkonného a rychlostního obrábění kovů. Vysoká křehkost se minimalizuje tuhostí soustavy stroj-nástroj-obrobek (SNO), respektive stroj-nástroj-obrobek-přípravek (SNOP).

Základní vlastnosti slinutých karbidů:

- vysoká tvrdost (85 až 95 HRA), malá pevnost v ohybu,
- velká odolnost proti opotřebení při vysokých teplotách, stálá tvrdost do teplot až 1000°C,
- dobré mechanické a fyzikální vlastnosti (pevnost v tlaku, odolnost proti korozi, vysoká měrná hmotnost),
- špatná tepelná a elektrická vodivost.

Mezi nejdůležitější představitele slinutých karbidů patří karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a karbid niobu (NbC). Jako pojivo se ve většině případů používá kobalt (Co). Uvedené karbidy mohou i bez kovového pojiva tvořit slinutý karbid, protože jsou navzájem rozpustné. Slinutý karbid má velmi širokou oblast použití a je s úspěchem nasazován pro obrábění většiny materiálů. [13]

3.1.1 Nepovlakované slinuté karbidy

Členíme dle ČSN v závislosti na svém složení a oblasti použití do tří základních skupin.

- **Slinuté karbidy typu P – WC, TiC, Co**

Jsou určeny pro obrábění železných kovů se vznikem dlouhé plynulé třísky – oceli, oceli na odlitky, temperované litiny. Nástroje se slinutými karbidy typu P se označují modrou barvou.

- **Slinuté karbidy typu M – WC, TiC, TaC, Co**

Používají se při obrábění železných kovů se vznikem dlouhé i krátké třísky a pro obrábění neželezných kovů – manganové oceli, austenitické oceli, oceli na odlitky. Nástroje jsou označovány žlutou barvou

- **Slinuté karbidy typu K – WC, Co**

Jsou určeny především pro obrábění železných kovů s krátkou drobivou třískou – šedé litiny neželezných kovů, měď, bronz, hliník. Nástroje jsou značeny červenou barvou.

Kromě základních 3 skupin se SK dělí ještě na doplňkové skupiny N, S, H. Rozdělení skupin je v následující tabulce č. 1. [13]

Tabulka č. 1 - Rozdělení obráběných materiálů do jednotlivých skupin SK [13]

P	uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12
	legované oceli tříd 13, 14, 15, 16
	nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...)
	nástrojové legované oceli (193... až 198...)
	uhlíkové ocelolitiny skupiny 26 (4226...)
	nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...)
	feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17... lité 4229...)
M	austenitické a feriticko-austenitické oceli
	korozivzdorné, žáruvzdorné a žárovevné
	oceli nemagnetické a otěruvzdorné
K	šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...)
	tvárná litina (4223...)
	temperovaná litina (4225...)
N	neželezné kovy, slitiny Al a Cu
S	speciální žárovevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa
	kalené oceli HRC 48 ÷ 60
	tvrze kokilové litiny HSh 55 ÷ 58

3.1.2 Povlakované slinuté karbidy

Od řezných nástrojů ze slinutého karbidu se vyžaduje, aby vykazovaly co největší otěruvzdornost a současně i velkou houževnatost. Ideálním druhem by byla taková řezná destička, která by měla tvrdý otěruvzdorný povrch a houževnaté jádro. Tomuto požadavku vyhovují vyměnitelné destičky ze slinutého karbidu s tvrdými povlaky. Povlakované SK se od sebe navzájem liší druhem povlaku, kombinací vrstev, tloušťkou povlaku a metodou povlakování. [13]

3.1.3 PKD-polykrystalický diamant

Vzhledem k vynikajícím mechanickým vlastnostem (pevnost v tlaku, tvrdost a další) lze tento materiál s výhodou používat jako řezný nástrojový materiál, a to zejména pro speciální aplikace 4. Při obrábění tímto materiálem se vyžaduje vysoká tuhost soustavy (SNOP). Vzhledem k poměrně nízké teplotní stálosti (při dosažení teplot nad 650°C se mění na grafit), nesmí být diamant používán pro obrábění materiálů na bázi železa (oceli, litiny), kde by při nadměrném ohřevu docházelo k silné difuzi mezi nástrojem a obráběným materiálem a tím k velmi rychlému opotřebení nástroje. Široké aplikační

možnosti poskytuje diamant v oblasti obrábění slitin hliníku a mědi. Používá se k obrábění kompozitů vyztužených různými druhy vláken (skleněná, uhlíková, aramidová – kevlar, polyetylenová atd.). [13]

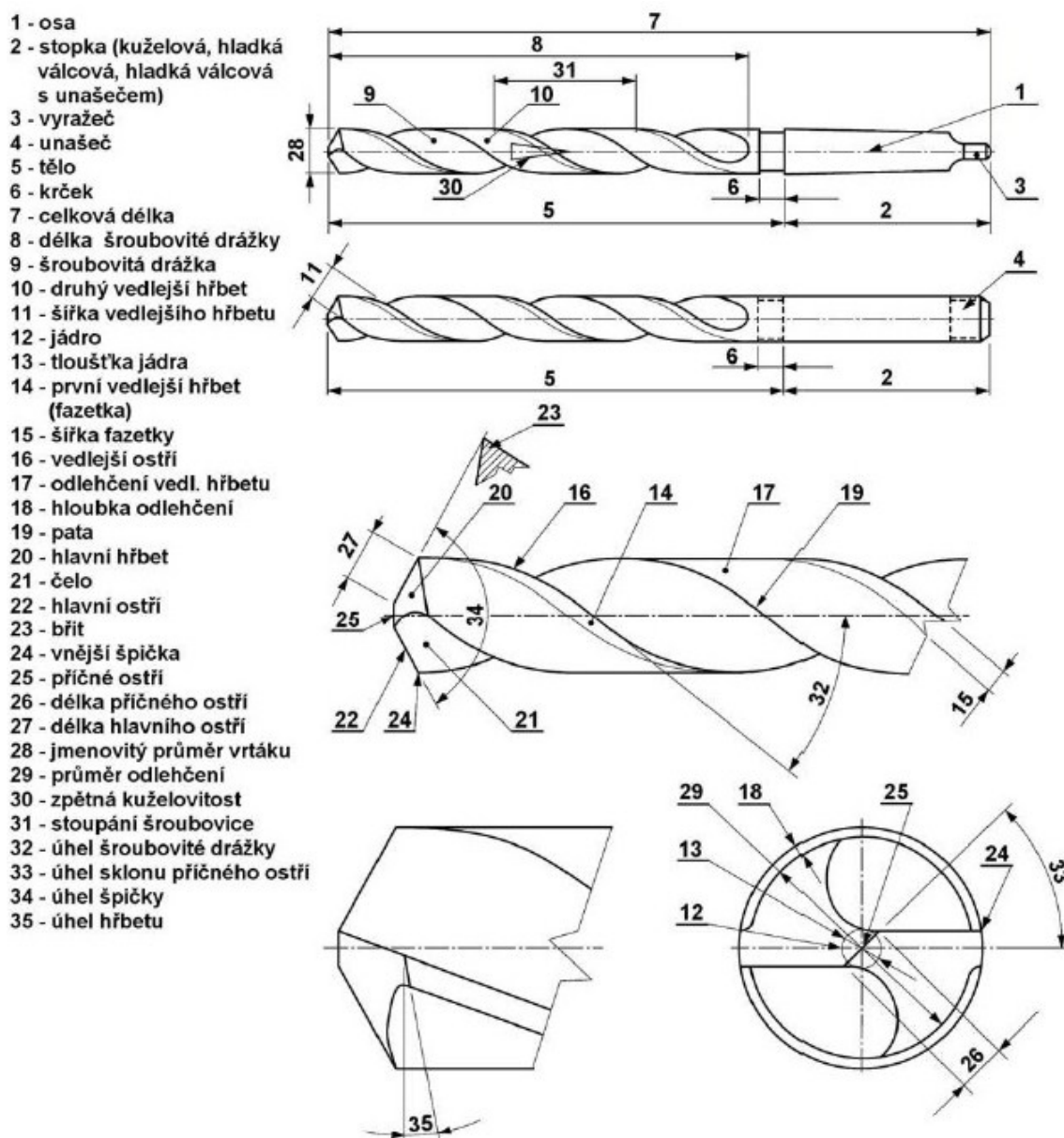
4 NÁSTROJE - VRTÁKY

Technologie a druh vrtání, konstrukce a geometrie použitého vrtáku jsou důležité aspekty pro rozdělení vrtáků do několika skupin – např. šroubovitě, s přímou drážkou, kopinaté, dělové atd. [1]

4.1 Šroubovitě vrtáky

Šroubovitě vrtáky (viz. obr. č. 3) jsou nejčastějším nástrojem pro vrtání krátkých děr. Mají na válcovém těle vytvořeny dvě protilehlé šroubové drážky, které nám slouží k odvodu třísky. Úhel stoupání šroubovice je pro vrtáky určené k vrtání ocelí a litin běžných pevností a tvrdostí $27^\circ \pm 5^\circ$. Pro vyvrtávání materiálů s vysokou houževnatostí (měkké oceli, slitiny hliníku, termoplasty) mají vrtáky větší úhel ($42^\circ \pm 5^\circ$). Úhel $12^\circ \pm 5^\circ$ mají vrtáky pro vrtání tvrdších materiálů (bronz, mosaz, tvrdá pryž, plexisklo).

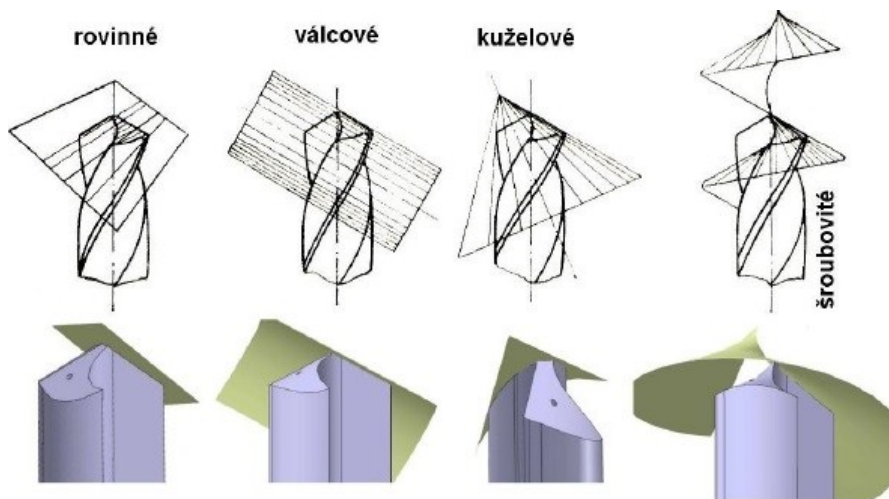
Hlavní ostří vrtáků jsou spojena příčným ostřím, které nám nepříznivě ovlivňuje pracovní podmínky (zvětšuje krouticí moment a posuvovou sílu). Proto se snažíme příčné ostří různými úpravami odstranit (např. podbroušením) nebo se nástroj konstruuje tak, aby bylo příčné ostří odstraněno. [2]



Obr. č. 3 – Základní parametry šroubového vrtáku [2]

Jádro šroubovitého vrtáku ($0,25 \div 0,5 D$) zajišťuje pevnost v krutu, popř. ve vzpěru. Aby bylo zajištěno menší tření vrtáku ve vrtané díře, jsou vedlejší hřbety odlehčeny na menší průměr a tělo vrtáku se směrem ke stopce mírně kuželovitě zužuje. Původní rozměr se ponechává pouze na úzké ploše (fazetce) u hrany každé drážky. Pro běžné nelegované oceli střední pevnosti a litin se používají šroubovitě vrtáky s úhlem špičky $\epsilon_r = 2\kappa_r = 118^\circ$, pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů 140° , pro vrtání plastů a tvrdých pryží 90° . Je možné také vybrousit vrták pod dvojitým úhlem např. 90° a 120° . Tím dosáhneme snížení opotřebení nástroje v důsledku snížení jeho tepelného namáhání a zmenšuje se i posuvová složka síly řezání. Toto se používá hlavně pro vrtní materiálů s horší obrobitelností.

Proměnné nástrojové úhly hřbetu i čela podél hlavního ostří napovídají, že šroubový vrták má poměrně složitou geometrii břitů. Průběh úhlů hřbetu i čela podél hlavního ostří je ovlivněn způsobem podbroušení hlavního hřbetu, které může být realizováno podle kuželové, válcové, šroubovité nebo rovinné plochy (obr. č. 4). [2]



Obr. č. 4 – Způsoby podbroušení hřbetních a šroubovitých ploch [2]

5 ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ

Prostředí v zóně řezání má významný vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Řezné prostředí je vytvářeno řeznými (procesními) médii: pastami, kapalinami, plyny, mlhami. Všechna tato média jsou vyrobena a užívána tak, aby měla chladicí, mazací a čistící účinek. K dalším důležitým specifickým požadavkům, kladeným na řezná média, lze zařadit provozní stálost, ochranný účinek, zdravotní nezávadnost a přiměřené provozní náklady. [12]

5.1 Suché obrábění

Hlavním cílem suchého obrábění (DM – Dry Machining) je minimalizace nebo úplné vyloučení procesních kapalin v průběhu obrábění, což umožňuje výrazné snížení finančních nákladů spojené s jejich nákupem, údržbou a likvidací. Výhodou je také omezení dalších průvodních technologických operací jako např. čištění (odmaštění) obrobků, mokrých třísek atd. [18,19].

5.2 Řezné kapaliny

Řezné kapaliny lze členit na kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Toto rozdělení však přesně nevystihuje sortiment kapalin, které jsou v současné době na trhu. Stále více se totiž projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u řezných kapalin s převažujícím chladicím účinkem. Všechny moderní druhy řezných kapalin tento požadavek plní, čímž je prakticky rozdíl mezi oběma skupinami stírán. Řezné kapaliny se rozdělují na vodní roztoky, emulzní kapaliny, mastné oleje, zušlechtěné řezné oleje, rostlinné oleje (ekologicky nezávadné) a syntetické kapaliny. Mezi druhy řezných (procesních) kapalin můžeme zařadit: vodní roztoky, emulzní kapaliny, zušlechtěné řezné oleje a syntetické a polysyntetické kapaliny. [12]

5.2.1 Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé (olej ve vodě). Aby toto bylo umožněno, je třeba do této soustavy přidat ještě třetí složku, tzv. emulgátor zmenšující mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizující emulzi a zabraňující koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Funkce emulgátoru je podmíněna tím, že některé jeho částice mají na jednom konci silný elektrický náboj, zatímco druhý, neutrální konec je rozpustný v oleji. Záporný náboj polární části molekuly způsobuje,

že olejové částice jsou elektrostatickou silou vzájemně odpuzovány, což brání jejich spojování.

Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze, s jejímž nárůstem klesá. Schopnost ochrany proti korozi závisí na tom, jaké hodnoty pH emulze dosahuje (pro slitiny na bázi železa postačuje hodnota $\text{pH} = 8\div 9$), ale v daleko menší míře než u vodných roztoků.

Emulzní kapaliny jsou nejčastěji používanými řeznými kapalinami, tvoří asi 80 % jejich celkového objemu. [12]

5.2.2 Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tento druh řezných kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky.

Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel - glykolů, které ve vodě emulgují, nebo se rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu.

Aplikace syntetických řezných kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, dobrý čisticí účinek a jednoduchou přípravu. V syntetických řezných kapalinách je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polysyntetické řezné kapaliny, které mají příznivější mazací schopnosti. V polysyntetických kapalinách jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích. [12]

5.3 Přívod řezné kapaliny do místa řezu

Způsob přívodu řezné kapaliny do zóny řezání významně ovlivňuje parametry řezného procesu, zejména trvanlivost břitu nástroje a jakost obrobené plochy. [12]

5.3.1 Vnitřní chlazení

Vnitřní chlazení přináší výrazné zvýšení výkonu obrábění, umožňuje zvýšení řezné rychlosti o 5 až 15 %. Při soustružení je tato metoda vhodná pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů.

U vrtáků je vnitřní chlazení upraveno tak, že je řezná kapalina přiváděna centrálními otvory v tělese nástroje až do místa řezu. Mimo vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami je vnitřní chlazení používáno i u klasických šroubovitých vrtáků vyrobených z monolitních SK i rychlořezné oceli. Tohoto způsobu chlazení se též využívá při vrtání hlubokých děr a vrtání těžkoobrobitelných materiálů. Zvýšení tlaku řezné kapaliny,

přiváděné do místa řezu vede ke zvýšení výkonu obrábění a případně k lepšímu odvodu třísek. [12]

6 MĚŘIDLA

Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny.

6.1 Základní měřidla

Podle způsobu měření se měřidla rozdělují na:

- absolutní – při této metodě měření jsou zjišťovány celkové rozměry a měřená hodnota se odečítá přímo z měřidla,
- komparační – při této metodě se určují úchytky od jmenovitého rozměru,
- toleranční – tato metoda určuje skutečnost, zda je vyhověno předpisu přesnosti (nejsou-li překročeny hodnoty mezních rozměrů). [12]

6.1.1 Kalibry

Kalibry jsou zvláštní forma koncových měřidel. Měřením pomocí kalibrů nelze číselně zjistit rozměr ani úchylku tvaru, ale součástka se označí jako dobrá a špatná (opravitelná, neopravitelná). Nutná je pravidelná kalibrace. Nejpoužívanější jsou mezní kalibry, které omezují příslušnou velikost tolerance. [12]

6.1.2 Komunální měřidla

Komunální měřidla jsou jednoduchá a přenosná, určená k měření rozměrů. Patří sem:

- ***posuvná měřidla*** – klasická s noniem, digitální, běžné čelistové provedení, hloubkoměry, výškoměry,
- ***mikrometrická měřidla*** – třmenové mikrometry, hloubkoměry, dutinoměry, různá provedení,
- ***číselníkové úchylkoměry*** – většinou s převodem ozubených kol, též v digitálním provedení. Může se použít pro diferenční a přímé měření při větším rozsahu. [12]

7 SLITINY HLINÍKU

V současné době je hliník neželezným kovem s největší produkcí následovaný mědí, olovem a cínem. Hliník a jeho slitiny nachází díky svým vlastnostem široké uplatnění v nejrůznějších oblastech průmyslu a v každodenním životě se setkáváme s výrobky vyrobenými z tohoto kovu. Ve stále větší míře dochází k nahrazování dříve používaných materiálů, kdy největší nárůst využití hliníku a jeho slitin byl zaznamenán v sektoru dopravy. [3]

7.1 Fyzikální vlastnosti hliníku

Hliník i jeho slitiny mají kubickou plošně centrovanou mřížku K12, což je důsledkem dobrých plastických vlastností za tepla i za studena. Čistý hliník se díky svým vlastnostem používá jen ve velmi omezené míře, hliník vysoké čistoty 99,999% v žíhaném stavu (01) má mez pevnosti $R_m = 40$ až 50 MPa a tažnost $A = 70$ až 90 %. Zlepšení mechanických, fyzikálních, technologických, chemických vlastností lze docílit vhodným chemickým složením slitin s kombinací tváření a tepelného zpracování.

Slitiny hliníku se vyznačují mnoho přednostmi, kvůli kterým jsou tak hojně využívány, mezi nejdůležitější patří:

- nízká hmotnost (hustota),
- dobré mechanické vlastnosti za nízkých teplot (absence tranzitního chování),
- dobrá tepelná vodivost,
- korozní odolnost (zpřičiněná vznikem ochranné vrstvy Al_2O_3 tloušťky 5-20 nm),
- dobrá tvařitelnost (za studena i za tepla). [3]

7.2 Vliv legujících prvků na vlastnosti slitin hliníku

Mezi hlavní legující prvky patří křemík, hořčík, mangan, měď, zinek a železo. Legující prvky ovlivňují slitiny různým způsobem. Zvýšení pevnosti a zlepšení obrobitelnosti způsobuje měď. Pozitivně na obrobitelnost působí i hořčík, mangan, zinek, chrom a vizmut. Naopak zhoršení obrobitelnosti způsobuje křemík, který však má pozitivní vliv na slévatelnost a zvýšení korozní odolnosti. Zlepšení pevnosti a korozivzdornosti způsobuje hořčík. Dalším prvkem, který zlepšuje slévatelnost je zinek, zároveň zlepšuje i pevnost. Pevnost a tvrdost získá slitina při legování železem. [4, 7]

7.3 Obrobitelnost hliníku a slitin hliníku

Obrobitelnost je hliníku a jeho slitin ovlivněna více faktory, závisí na chemickém složení, druhu zpracování výchozího polotovaru at' už tažením, kováním, či sléváním a v některých případech i na tepelném zpracování. Čistý hliník způsobuje při obrábění potíže, kdežto slitiny hliníku se dají specifikovat jako dobře obrobitelné materiály, tento rozdíl je způsoben rozdílnou strukturou. Za zmínku stojí také stupeň deformačního zpevnění.

Při obrábění slitin hliníku je možné používat vysoké řezné rychlosti, přičemž dosahované teploty jsou nízké. V současné době je využíváno nástrojů speciálně dimenzovaných pro obrábění hliníku, která umožňují hospodárné obrábění široké spektrum hliníkových slitin. K zamezení tvorby nárůstku a dobrému odvodu třísky z místa řezu je všeobecně vyžadován velký úhel čela. Při srovnání velikosti řezných sil při obrábění konstrukčních ocelí o stejné pevnosti jako u slitin hliníku jsou řezné síly mnohem nižší.

Velmi využívaný je způsob hodnocení obrobitelnosti hliníku a jeho slitin založený na vyhodnocování trvanlivosti břitů nástroje, kvalitě obrobené plochy a tvaru třísky. Hodnocení obrobitelnosti podle tvaru třísky je posuzováno vizuálně, třísky jsou na základě jejich tvaru rozděleny pěti do skupin s označením A až E.

Popis jednotlivých skupin :

A – slitina je dobře obrobitelná, tříska je ve formě drobných šupin, výborný povrch

B – tříska ve formě sviteků nebo dobře lámavých šupin, dobrý nebo výborný povrch

C – tříska je spojitá, dobrý povrch

D – tříska je spojitá, dostatečná kvalita povrchu

E – nevyhovující tříska, nutnost změny podmínek při obrábění, špatná kvalita povrchu.

[3,4,7]

7.3.1 Slévárenské slitiny

Hlavními legujícími prvky jsou měď, hořčík nebo zinek. Vyznačují se dobrou obrobitelností a v průběhu obrábění nezpůsobují žádné výrazné problémy. V některých případech však dochází k ulpívání materiálu na čele nástroje a vzniku nárůstku. Podmínky krystalizace u slévárenských slitin mohou výrazně ovlivnit opotřebení nástrojů, homogenní jemnozrnná struktura způsobí menší opotřebení a naopak výskyt nespojitostí, oxidických vrstev a vměstků vede k výraznému opotřebení.

Slitiny, u kterých je hlavním legujícím prvkem křemík, je vhodné obrábět nižšími řeznými rychlostmi a posuvy. Tyto slitiny lze podle obsahu křemíku rozdělit na podeutektické, eutektické a nadeutektické. S rostoucím obsahem křemíku ve slitině značně roste opotřebení nástrojů, výjimku tvoří pouze slitiny s obsahem křemíku kolem 12% (eutektické). Matrice těchto slitin je poměrně měkká a při obrábění dochází k zatlačování tvrdých částic Si do matrice. V případě těchto slitin je nepříznivé také tepelné zpracování, které způsobuje zpevnění měkké matrice. Křemíkem legované slitiny se při obrábění převážně vyznačují krátkou dobře lámavou třískou, výjimkou jsou uvedené eutektické slitiny, které vytváří dlouhé svinuté třísky. [3, 8]

7.4 Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin

Tepelné zpracování pro tvářené slitiny a odlévané slitiny se zásadně neliší, základní rozdělení je do dvou skupin

- žihání,
- vytvrzování. [3, 9]

7.4.1 Precipitační zpevnění – vytvrzování

Hlavní podmínkou pro vytvrzování je výrazná změna rozpustnosti legujícího prvku nebo prvků na teplotě, což je základním předpokladem vzniku přesyceného tuhého roztoku. Tímto způsobem je možné ve značné míře ovlivňovat fyzikální, technologické a především mechanické vlastnosti slitin.

Samotné vytvrzování se skládá ze dvou na sebe navazujících pochodů:

- **rozpouštěcí žihání** – materiál je ohřát na žihací teplotu, následuje výdrž na teplotě nutná pro rozpuštění a převedení jedné nebo více intermetalických fází (např. Mg_2Si , $CuAl_2$) do tuhého roztoku. Dalším krokem je ochlazení kritickou nebo nadkritickou rychlostí s cílem získání nasyceného tuhého roztoku.
- **stárnutí** – je pochod, v jehož průběhu dochází ke změnám mechanických, fyzikálních a technologických vlastností důsledkem změny substruktury. Přirozené stárnutí probíhá při běžné teplotě, kdežto umělé stárnutí za zvýšených teplot. V některých případech se využívá tzv. stupňovitého stárnutí, kdy proces stárnutí je uskutečňován při dvou nebo více teplotách. [9, 10]

8 PROCES VÝROBY LITÝCH KOL V CROMODORA

Proces výroby litých kol se skládá z několika částí. Nejprve se nutné kola odlít, následně obrobit a nakonec nalakovat. V následující kapitole budou podrobněji popsány procesy výroby ve slévárně, obrobě a lakovně.

8.1 Slévárna

První fází výroby kol je slévání hliníku. Nejprve je potřeba zavést slévací pec vsázkou, která se skládá z housek z materiálu AlSi7Mg 0,3 nebo AlSi11(Mg).

Tabulka č. 2 – Chemické složení slitin hliníku [11]

EN 1676		Hydro	Chemical composition (w %)							Other	
Chemical	Numerical	IMS	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Each	Total
AlSi zliatiny/ AlSi-alloys											
AlSi7Mg0,3	AB-42100	4433xx	6,5 - 7,5	0,15	0,03	0,10	0,30 - 0,45	0,07	0,10 - 0,18	0,03	0,10
AlSi11(Mg)	AB-44000	4453xx	10,0 - 11,8	0,15	0,03	0,10	0,45	0,07	0,15	0,03	0,10

Do vsázky se případně přidávají zmetková kola, vyřazená z následného procesu výroby nebo vyčištěné třísky. Maximální hmotnost vsázky je 800 kg. Ročně se zhruba zpracuje 20 000 t hliníkové slitiny. Tavicí pece jsou italské výroby značky Fergal typ FRCA – 06 (3ks) s objemem 3 x 4 m³ tekuté hliníkové slitiny a projektovanou kapacitou 3 x 3 tuny Al slitiny za hodinu, tj. max. 120 t/den. Pece jsou ohřívány hořáky na zemní plyn o výkonu 2 326 kW_t na teplotu cca 760 °C. Spaliny z pecí nejsou z důvodu vysoké teploty filtrovány. Z pecí je roztavený kov odléván do přepravních pánví, které jsou poté vysokozdviznými vidlicovými vozíky převáženy k odplynovacímu zařízení. Pánve jsou předehřívány plynovým hořákem. Odplynovací zařízení FDU Fondermat slouží k homogenizaci taveniny Al v pánvi účinkem plynného dusíku a Argonu popřípadě po odplynění k přidávkám legur, a to tyčí se složením 95% Al, 5% B, 1% Ti, pro zkvalitnění mechanických vlastností slitiny a pro lepší krystalizaci slitiny.



Obr. č. 5 – Tavicí pec, pánev, odplynovací zařízení [zdroj: autor]

Odplyněný tekutý kov je převezen v téže přepravní pánvi k nízkotlakým odlévacím strojům k odlévání. Roztavený kov je z pánve gravitačně přelit do elektricky vytápěných udržovacích pecí lisů. Odlévací stroje LPM (28 ks) nízkotlaké lisy slouží k regulovanému vtlačování roztaveného Al pomocí stlačeného vzduchu do licí kovové formy odlitku přes sítko, kvůli zachycení nečistot. Vzdušina z pecí není filtrována. Předehřev forem před užitím je prováděn mobilním plynovým hořákem o výkonu cca 30 kW_t. Chlazení kovové formy během provozu je prováděno stlačeným vzduchem a cirkulující chladicí vodou. Po naplnění formy hliníkem ve stanovené době je část formy automaticky odklopena a hotový výrobek je ponořen k definitivnímu ochlazení do nádrže s chladicí vodou. Poté jsou z odlitku odfrézovány nálitky na vnitřním ramínku kola, aby se mohlo pohybovat po válcovém dopravníku, poté je odlitek podroben Rtg kontrole s výstupem na obrazovky, kde operátoři hodnotí kvalitu kol. Vyřazené zmetkové odlitky jsou ihned vráceny zpět jako kvalitní vsázkový materiál do tavicích pecí. Poté je kolo zbaveno licího sítka se ztuhlou Al slitinou (tzv. „Mrkve“) pomocí vyražení. Kvalitativně vyhovující odlitky ze slitiny AlSi7Mg poté postupují dále na tepelnou úpravu, kde jsou převáženy vysokozdvížnými vozíky na paletách. Slitina AlSi11Mg0,3 se již dále tepelně nezušlechťuje. V poslední době se stále více využívá slitina AlSi7Mg0,3 pro své lepší mechanické vlastnosti, dokonce se i lépe obrábí. Tepelné zpracování odlitků je realizováno řízeným postupným pomalým nahříváním kol na předepsanou teplotu za účelem odstranění případných lokálních pnutí, ke kterým mohlo dojít v procesu odlévání odlitků a jeho následném ochlazení. Proces tepelného zušlechťování je v prvním kroku prováděn v žíhací peci (2ks) za pomoci přímého procesního ohřevu zemním plynem. Pec je rozdělena celkem na 7 zón o celkovém výkonu 1440 kW. Pec v procesu žíhání vyvíjí nejvyšší teplotu 550°C. Po zchlazení ve vodě postupují kola do ohřívací pece pomalého stárnutí (2ks) kde je vyvíjena teplota maximálně 215°C. Kola jsou naložena na paletu a vysokozdvížnými vozíky jsou převezena na obrobnu. [16]

8.2 Obrobna

Obrobnu tvoří hnízdo sestávající z vyvrtávacího centra IMT DWN 22, soustružnického centra IMT W 20-T4, robota Fanuc M-410iB 160, zařízení pro kontrolu vyvážení kol a zařízením kontrolující výšku dosedací plochy. Kola jsou ručně překládána z palety na válečkový dopravník, kolo se musí na dopravník správně naložit, aby byla zajištěna poloha ventilku. Poté si kolo přebere robot a vloží ho do soustružnického centra.



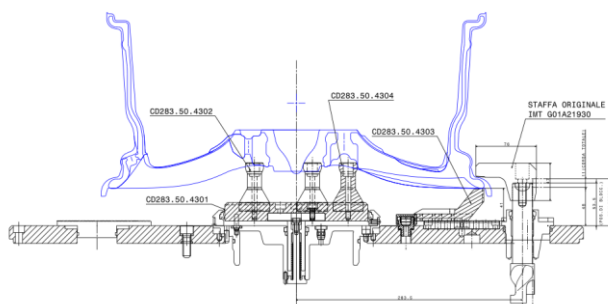
Obr. č. 6 – *Prostor pro nakládání kol [zdroj: autor]*



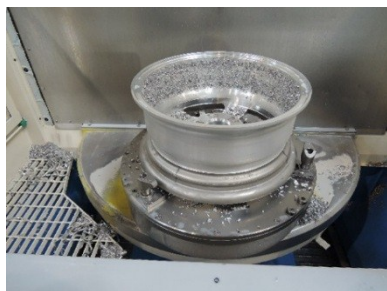
Obr. č. 7 – *Robot [zdroj: autor]*

Hrubování probíhá soustružnickými noži osazenými vyměnnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Dokončovací operace se provádějí výměnnými břitovými s napájenými špičkami z polykrystalického diamantu, kvůli vysoké jakosti povrchu. Soustruh pracuje s otáčkami 2000 ot. /min pro 15“-17“ kola a s 1900 ot. /min. pro 18“ kola. Řzná rychlost, se značně liší na vnějším obvodu, dosahuje až přes 2700 m/min, zatímco při obrábění nábojového otvoru se rychlost pohybuje pouze okolo 420 m/min. Obecně se hodnota posuvu pohybuje okolo hodnoty 0,6mm/ot. při hrubování a hodnoty 0,2-0,5mm při dokončovacích operacích. Takto vysokých hodnot posuvu lze dosáhnout díky velkému rádiusu špiček destiček, jež se pohybuje i mezi 3-4mm. Kolo je po obrobení opláchnuto.

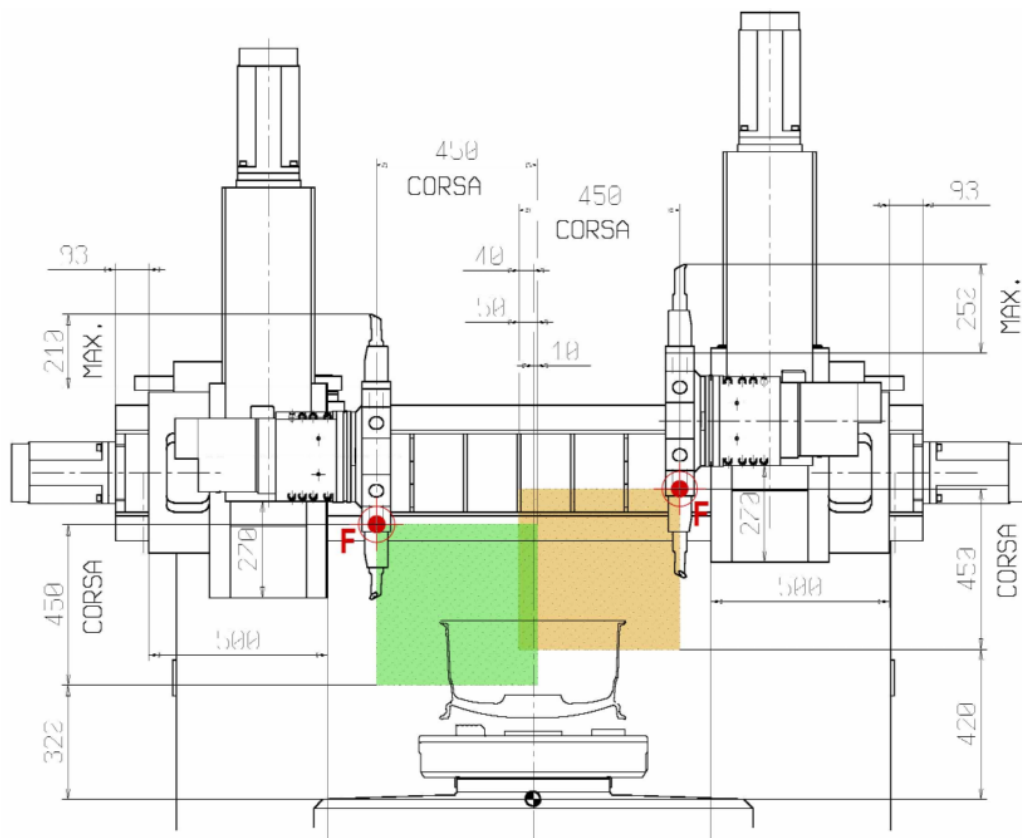
Středění kola je realizováno pomocí pinů vsazeným do předlitým děr šroubových otvorů. Kolo je po obvodu ještě upnuto třemi pneumatickými upínkami. Schéma upnutí je vidět na obr. č. 9. Kolo je po obrobení opláchnuto.



Obr. č. 8 – *Schéma upnutí kola při soustružení (hrubování) [zdroj: autor]*

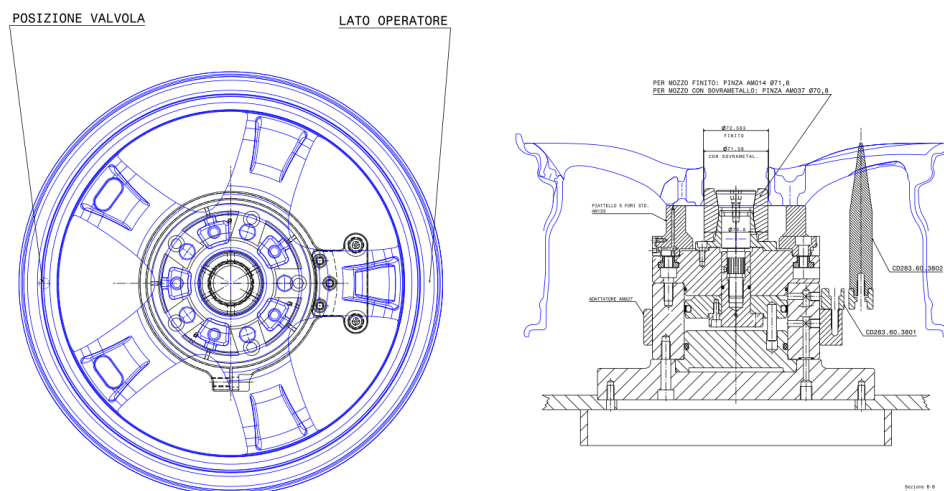


Obr. č. 9 – *Upnuté ohrubované kolo [zdroj: autor]*



Obr. č. 10 – Rozsah pohybů soustružnického centra [zdroj: autor]

Poté je kolo přeneseno na zařízení zjišťující skutečnou polohu dosedací plochy, aby se do soustružnického centra mohly automaticky dosadit hodnoty korekcí pro následné obrábění plochy pro krytku kola. Tolerance polohy dosedací plochy je $\pm 2\text{mm}$. Z tohoto zařízení robot přesouvá kolo do vyvrtávacího centra a položeno na otočný stůl, kde se postupně obrobí hlavní šroubové otvory, servisní otvory a ventilek. Kolo je upnuto, rozpínající se kleštinou, za nábojový otvor, kde je ještě přídavek, který se obrábí na druhé upnutí na soustružnickém centru, takže nehrozí jeho deformace. V prvním kroku obrobí stupňovitý vrták hlavní šroubové otvory. Poté fréza na zpětné zahlubování interpolací ojehlí tyto otvory. Ve třetím kroku se vrtají montážní otvory. V posledních dvou operacích se obrábí ventilek. Nejprve se obrobí stopkovou válcovou frézou z čelní strany a po pootočení stolu se obrobí i z druhé strany. Schéma upnutí je na obr. č. 11.

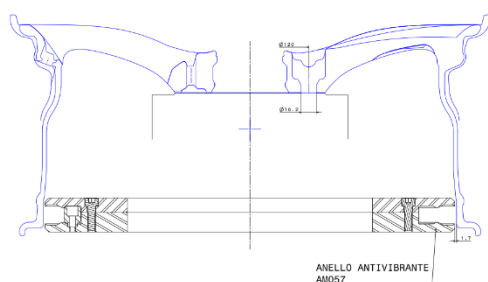


Obr. č. 11 – Schéma upnutí kola ve vyvrtávacím centru [zdroj: autor]



Obr. č. 12 – Upnuté kolo ve vyvrtávacím centru [zdroj: autor]

Kolo je pak opět přesunuto do soustružnického centra, kde již obráběno načisto. Kolo upnuto pomocí rozpínajících se kleštin a je rozepřeno gumovou obručí. Obrábí se již pouze centrální nábojový otvor a vnější ramínko kola. Před upnutím je kolo opět opláchnuto. Schéma upnutí je na obr. č. 13.



Obr. č. 13 – Schéma upnutí kola při soustružení (dokončování)

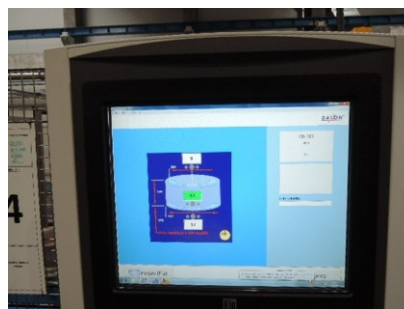


Obr. č. 14 – Upínací přípravek [zdroj: autor]

Po obrobení je kolo přesunuto na stanoviště kontroly vyvážení Rapid 2000- obr. č. 15. Kolo je při svém otáčivém pohybu ofukováno tryskami, jimiž proudí stlačený vzduch, aby bylo zbaveno třísek, které ulpěly na povrchu kola a mohly by zkreslit výsledek měření. Pokud je hodnota nevyváženosti větší jak 28g- obr. č. 16, tak se kolo automaticky vyřazuje z procesu výroby a je vloženo na horní výstupní válečkový dopravník a poté je přidáno do vsázky.



Obr. č. 15 – Zařízení Rapid 2000 [zdroj: autor]



Obr. č. 16 – Kontrolní panel Rapidu 2000 [zdroj: autor]

Pokud je kolo v pořádku, je vloženo na spodní válečkový dopravník, kde si ho přebírá operátor a provádí kontrolu přesnosti, ojehlí hrany ventilků a montážních otvorů, provede vizuální kontrolu, ucpe ventilkový otvor a posílá kolo válečkovým dopravníkem na další stanoviště výrobního procesu. Kontrolu přesnosti nábojového otvoru $\varnothing 72,5E8\text{mm}$ provede kalibrem nebo dutinoměrem.

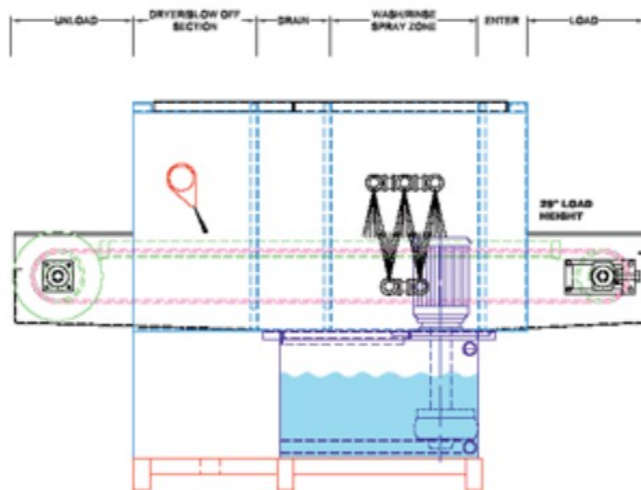


Obr. č. 17 – Kontrola rozměru $72,5E8$ kalibrem [zdroj: autor]



Obr. č. 18 – Kontrola rozměru $72,5E8$ dutinoměrem [zdroj: autor]

Kola putují ze všech 14 obráběcích hnízd do pračky- obr. č. 19, kde jsou očištěna od zbytků řezné kapaliny a následně vysušena.



Obr. č. 19 – *Pračka*

Z pračky pokračují na tzv. „Leak Test“, kde se pomocí helia testuje těsnost kol. Typ kola je určen automaticky pomocí kamery, která kolo snímá a počítače, který obraz vyhodnotí. Helium je vtačováno přes centrální otvor ve středu kola a kontroluje se nepropustnost ráfku. Obr. č. 20.



Obr. č. 20 – „Leak Test“ [zdroj: autor]

Po „Leak Testu“ se kola vláčkovým dopravníkem přesouvají ke kartáčovacím strojům. Každý typ kola má svůj kartáčovací stroj se speciálně upravenými kartáči na daný typ kola. Rozdělení typu kol se provádí stejně jako u „Leak Testu“. Ve stroji jsou 2 pozice. Na první upnutí se kola kartáčují kartáči ve vodorovné poloze. Na druhé upnutí se používají kartáče skloněné pod úhlem 45° a dočišťují se otřepy na paprscích kol.



Obr. č. 21 – Kartáčovací kotouče [zdroj: autor]



Obr. č. 22 – Automatická kartáčovací centra [zdroj: autor]

Po této operaci se kola na válečkovém dopravníku dostávají na úsek ručního dočišťování a kontroly. Zde jsou provedeny poslední úpravy před odesláním kol do lakovny. Kola jsou skládána na paletu a odvezena vysokozdvížným vozíkem do lakovny.

8.3 Lakovna

Proces v lakovně sestává chemické z předúpravy a oplachu, poté z postupného nanášení 3 vrstev laků: základního nátěru práškovou barvou, barevného odstínu syntetickou barvou a finálního vrchního bezbarvého syntetického laku. Aplikace všech druhů laků včetně syntetických organických ředidel je prováděna materiály typové řady SEBIDUR. Prvním krokem v lakovně je nasazení kol na závěsný dopravník. Kola jsou ukládána ve 3 řadách.



Obr. č. 23 – Dopravník lakovny [zdroj: autor]

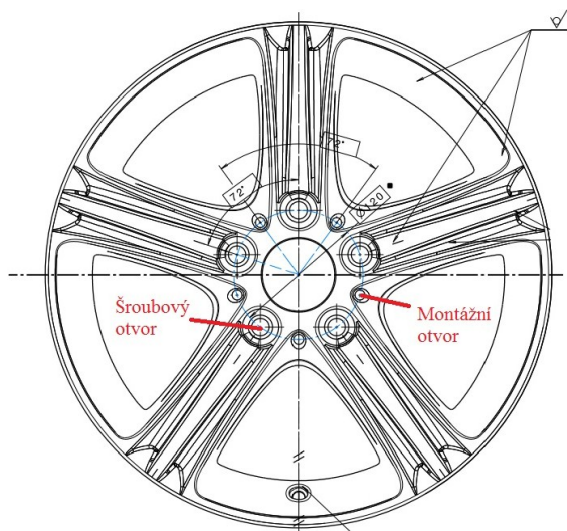
Kola jsou podrobena předodmaštění a odmaštění v prostředku Ridoline 2105 IT na bázi alkalických vodných roztoků NaOH a KOH s následným oplachem vodou. Následuje proces deoxidace v prostředku Deoxidine 251 A na bázi vodného roztoku H_3PO_4 s následným oplachem vodou a demivodou a pak následuje konverze (pasivace) v prostředku Alodine 4850 na bázi roztoku kyseliny hexafluorozirkoničité s návaznými oplachy demivodou. Lakovací linka včetně předúpravy spotřebuje ročně okolo cca 100t ředidel. V lince je instalováno 12 van, jednotlivé operace jsou prováděny na zavěšených kolech postříkem. 4 vany s aktivními prostředky o projektované kapacitě $16,6\text{ m}^3$ slouží jako zásobníky lázní, které jsou vyhřívány nepřímo horkou vodou z kotelny. Závěrečnou operací předúpravy je sušení. Sušící vzduch je přímo ohříván hořákem na zemní plyn s tepelným výkonem $1\,337\text{ kW}_t$. Emise z předúpravy a sušení jsou vypouštěny do ovzduší. Linka základní práškové barvy, včetně vypalování a chlazení zahrnuje automatické elektrostatické nanášení práškové barvy ve stříkací kabině, která je odsávána a přestříky zachycovány na filtru. Následuje vytvrzení práškové barvy v průjezdni vypalovací peci s nepřímým ohřevem vypalovacího vzduchu hořáky na zemní plyn o tepelném výkonu $2 \times 916\text{ kW}_t$. Vzdušina z vypalovací pece není filtrována a je vypouštěna do ovzduší. Vychladlá kola po aplikaci práškové barvy jsou před nanášením barevného syntetického odstínu zahřívána na pracovní teplotu $45 - 50\text{ }^\circ\text{C}$ hořákem na zemní plyn s výkonem 325 kW_t (přímý procesní ohřev). Linka barevného odstínu představuje automatické nanášení barevné syntetické barvy na kola ve stříkací kabině lakovací linky. Nastříkaná kola jsou dále plynule vysoušena ve vytěkáci zóně sušárny. Odsávaná vzdušina z lakování barevného odstínu a vytěkáci zóny s obsahem těkavých organických látek vyjádřených jako celkový organický uhlík je zavedena do spalovací jednotky regenerativní termické oxidace (dále „RTO“). Pro případ poruchy RTO je proces lakování automaticky zastaven a zbytková vzdušina je vypuštěna nouzovými výduchy do ovzduší. Linka bezbarvého (transparentního) laku zahrnuje nanášení finálního nátěru, které je prováděno ve třetí stříkací kabině lakovny. Lak je následně ve vytěkáci zóně vysoušen a vypalován ve vytvrzovací peci vrchního laku, s nepřímým ohřevem vypalovacího vzduchu hořáky na zemní plyn o tepelném výkonu hořáků $2 \times 916\text{ kW}_t$. Těkavé organické látky vznikající během stříkání, sušení a vytvrzování transparentního laku jsou spalovány jako v případě barevného laku v RTO. Pro případ poruchy RTO je proces lakování automaticky zastaven a zbytková vzdušina je vypuštěna nouzovými výduchy do ovzduší.

Stříkací kabiny s aplikací syntetického a transparentního laku jsou vybaveny k zachycování přestříků vodními clonami. Barvy z odpadní vody jsou v koagulační stanici

odstraňovány flotací, které předchází vysrážení vloček barev pomocí flokulantu. Spalovací jednotka RTO s projektovanou kapacitou 16 000 m³/hod je nedílnou součástí „lakovny“ a slouží ke spalování emisí těkavých organických látek ve vzdušině přiváděné z míchání, aplikace syntetických barev a laků, včetně vytěkáčích zón a vypalovacích pecí lakovny. Podstatou procesu je vhánění znečištěné vzdušiny do tří spalovacích komor reaktoru vyplněných keramickými bloky, které jsou přímo nahřívány jedním hořákem na zemní plyn o tepelném výkonu 703 kW_t. Proces probíhá regulovaným řízením teploty a množství nasávaného vzduchu při tepelném režimu 780°C. Vzdušina z RTO je vypouštěna výduchem do ovzduší. [16]

9 TESTY VRTÁKŮ

V této kapitole budou popsány testy obrábění hlavních šroubových otvorů a servisních otvorů, které by měly vést k zefektivnění výroby. Testy již probíhají zhruba rok. Jsou zde i propočty nákladů na nástroje. Propočty nemají jasnou vypovídající hodnotu, ale vycházejí z propočtů a logiky uvažování, kterými se řídí v obou závodech.

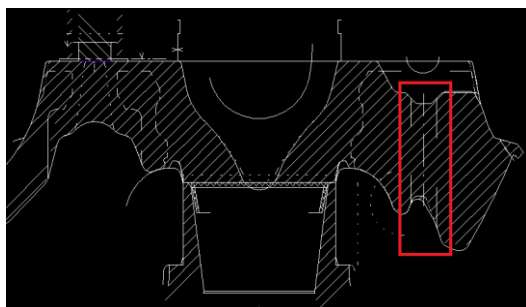


Obr. č. 24 – Lité kolo z hliníkové slitiny [zdroj: autor]

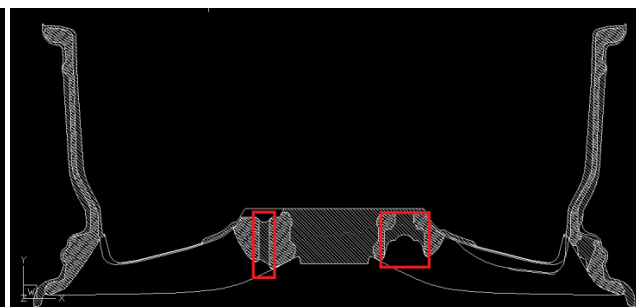
9.1 Rozvaha možných příčin a řešení

Slitiny hliníku mají obecně velmi často tvořit nárůstky na břitě a ulpívat na fasetkách nástroje. Často se stává, že jsou třísky vtlačeny do stěny otvoru. Příčina tohoto jevu je v nedostatečném odvodu třísek z řezu a mechanických vlastnostech slitin hliníku. Pro lepší odvod třísek je vhodné použít vyššího tlaku řezné kapaliny nebo používat vrtáky s leštěnými drážkami popř. nepřilnavými povlaky. Nejvhodnějším řezným materiálem pro obrábění hliníkových slitin je polykrystalický diamant, který je vůbec nejtvrdějším standartně používaným řezným materiálem. Vyznačuje se dlouhou životností, ale bohužel malou houževnatostí, takže je vhodný pro aplikace, kde nehrozí vliv silných vibrací. S tímto materiálem se obecně dosahuje nejvyšších jakostí povrchu. Z těchto důvodů byl na hlavní šroubové otvory doporučen vrták z PKD. Pro montážní otvory byl doporučen vrták ze slinutých karbidů, protože u této aplikace je hrozba vibrací mnohem větší, kvůli nepříznivějšímu poměru mezi průměrem otvoru a délkou vrtáku a také kvůli nevhodnému vstupu vrtáku do řezu, které způsobuje jeho odtlačování z řezu. Použití rychlořezné oceli v těchto aplikacích není vhodné, kvůli malým řezným výkonům, tendenci k vzniku nárůstku a v neposlední řadě kvůli sklonu k uhýbání z řezu. Stěžejním problémem u vrtání montážních otvorů je z technologického hlediska nevhodný vstup vrtáku do obrobku.

Vrták vstupuje do obrobku pod velmi ostrým úhlem do předlité válcové plochy a ani přechod do plného materiálu není optimální, neboť vrták do něj vstupuje zhruba pod úhlem 45°. Tyto aspekty zásadním způsobem ovlivňují průběh vrtání.



Obr. č. 25 – Detail servisního otvoru
[zdroj: autor]



Obr. č. 26 – Servisní a šroubový otvor
[zdroj: autor]

Způsobují otláčování vrtáku z osy vrtání a má se za to, že to má vliv na nalepování a roztlačování třísek na stěnách otvoru. Otláčování vrtáku od osy dále způsobuje, že jsou obrobky vyřazeny z výrobního procesu, kvůli nedodržení předepsaných tolerancí odchylky polohy a rozměru roztečné kružnice. Ideálním řešením by byla změna formy pro odlévání kol, ale to není bohužel technologicky možné z důvodu špatné zabíhavosti, potencionálního vzniku trhlin atd. Další možností by bylo nasazení dalšího nástroje do procesu a to konkrétně stopkové frézy s příčným ostřím, aby se mohla zahlubovat. Fréza by připravila kolmou plochu pro vrták. Tato varianta se zavádět nebude, protože by zařazením dalšího nástroje výrazně zvýšil „cycle time“. Ideální volbou pro testy se jeví použití vrtáku, který by spojoval výhody frézy a vrtáku. Vrták by měl být ideálně vícezubý se 180° čelem.

9.2 Vrtání servisních otvorů

Tyto otvory jsou téměř na všech typech kol a mají shodné průměr a to 9,2mm. Problémem je, že vrták nevstupuje do obrobku kolmo a je odtlačován od své svislé osy. Otvory mají předepsanou toleranci průměru $\pm 0,25\text{mm}$, tolerance polohy je 0,5mm. Třetím sledovaným znakem je průměr 120 mm roztečné kružnice tvořený otvory. Drsnost povrchu se kontroluje pouze vizuálně, ale je velice důležitým kritériem, protože otvory jsou na pohledové straně kola. Vrtáky se testovaly jak v Cromodore, tak v Hayes.

Hayes: Jedná se také o dvojhraný šroubovitý vrták ze slinutých karbidů s vnitřním chlazením, avšak tento vrták není napovlakován. Pořizovací cena vrtáku je 130 Euro. Vrták má životnost okolo 15 000 děr. Vrtáky se poměrně často lámají, takže vrták je přebrušován jen asi v 50 % případů. Přebus stojí 37 Euro. Řezné podmínky vrtáku jsou v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4 – Stávající řezné podmínky – Hayes Lemmerz [zdroj: autor]

Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu
145	0,15	0,15

$$\text{Výpočet nákladů na 1 otvor: } \frac{\text{Pořizovací cena} + (5 \times \text{cena repase})}{6 \times \text{životnost}} = \text{náklad na 1 otvor}$$

$$\frac{130 + (0,5 \times 37)}{22\,500} = 0,0066 \text{ Euro}$$

Náklady na nástroj na obrobění jednoho otvoru jsou zhruba 13x v Hayes vyšší než v Cromodore.

9.2.2 Testovaný vrták

Vrták Mapal Mega-Drill-Alu-180°, 5xD. Je to vrták ze slinutých karbidů určený pro neželezné kovy především pro slitiny hliníku. Vrták má leštěnou spirálovitou drážku pro lepší odvod třísek. Tělem nástroje jsou vedeny dva chladicí kanály pro přívod emulze přímo na břity nástroje. Vrták má dobrušovanou HA stopku kvůli minimalizaci obvodového házení. Pro lepší vedení je vrták opatřen 4 fasetkami. Tento vrták byl vybrán kvůli 180° úhlu na jeho špičce, jelikož by toto řešení mělo snížit radiální síly působící na vrták a tím snížit jeho odtlačování z řezu. Doporučené řezné podmínky jsou v tabulce č. 5. Všechny následující varianty budou vycházet z tohoto vrtáku. [17]

Tabulka č. 5 – Doporučené řezné podmínky - vrták MAPAL [17]

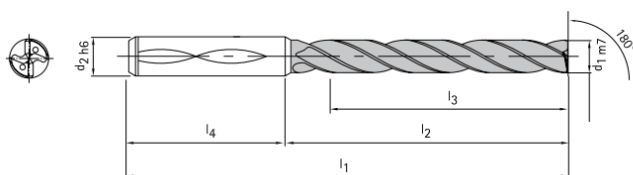
Podíl Křemíku (Si)	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)
≤ 10 %	100 - 250	0,2 - 0,36
≥ 10 %	100 - 160	0,2 - 0,36



MEGA-Drill-Alu-180°

Solid carbide twist drill

SCD24 (5xD), internal coolant supply



Design:	
Drill diameter:	3,00 – 20,00 mm
Bore tolerance:	IT9 (achievable)
Shank form:	HA
Coating:	Uncoated
Number of cutting edges:	2
Number of guiding chamfers:	4
Point geometry:	Specific lead geometry
Tip angle:	180°
Helix angle:	30°

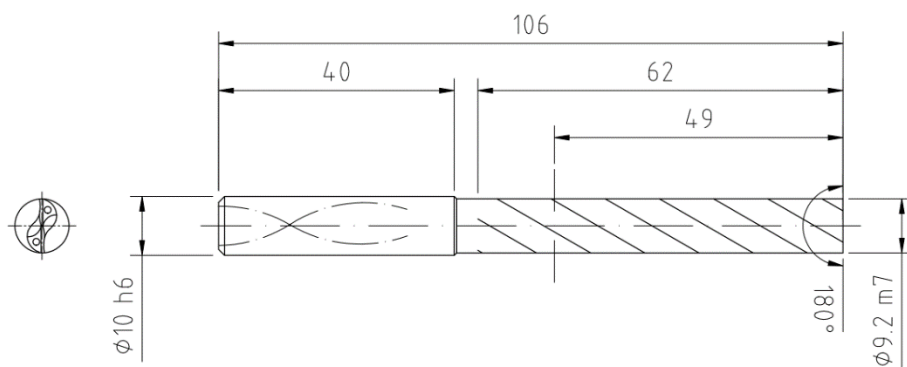
Obr. č. 28 – Vrták Mega-Drill-Alu-180° [17]

9.2.3 Test č. 1

Vrták byl upnut do hydrosklíčidla SCHUNK s upínacím kuželem SK 40. Vrtalo se do slitiny AlSi11. Výsledky testů naznačovaly, že čím vyšší jsou řezné podmínky, tím lepších výsledků je dosahováno. Bylo vyžádáno doporučení výrobce k navýšení maximálních řezných podmínek, kdy bylo doporučeno zvýšit řeznou rychlost z 160 m/min. na 200 m/min. Při těchto řezných podmínkách došlo k vyštípnutí břitu v jeho střední části. Na obr. č. 32 je patrné poškrábání vedlejšího hřbetu způsobené třískami. Na obr. č. 33 je patrné nalepení třísek na vedlejší hřbet nástroje. Třísku zastavil druhý pár fasetek.



Obr. č. 29 – Vrták vyštípnutá řezná hrana [zdroj: autor]



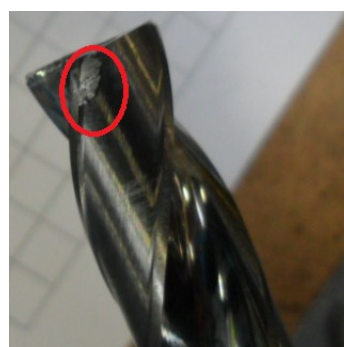
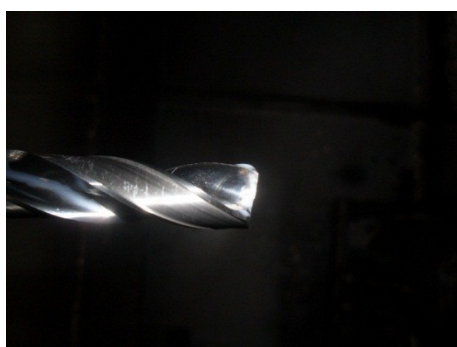
Obr. č. 30 – Rozměry vrtáku SCD 24 [zdroj: autor]

Tabulka č. 6 – Řezné podmínky – Test č. 1 [zdroj: autor]

Pořadové číslo	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	145	0,2		
2.	145	0,3		Nadějný povrch
3.	130	0,15		
4.	200	0,36		Vyštípnutí břitu



Obr. č. 31 – Otvory – Test č. 1 [zdroj: autor]



Obr. č. 32 – Stav vrtáku po testu č. 1 [zdroj: autor]

Obr. č. 33 – Zalepení fasetka [zdroj: autor]

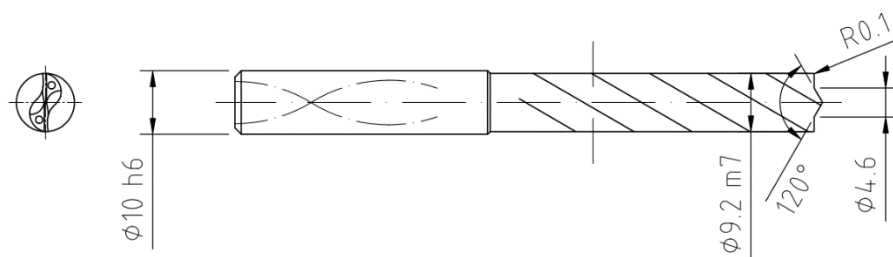
9.2.4 Test č. 2

Vrták byl přestrojen a byla vybroušena centrovací špička s vrcholovým úhlem 120°, která měla zajistit navedení vrtáku při přechodu do plného materiálu. Na vnější špičce

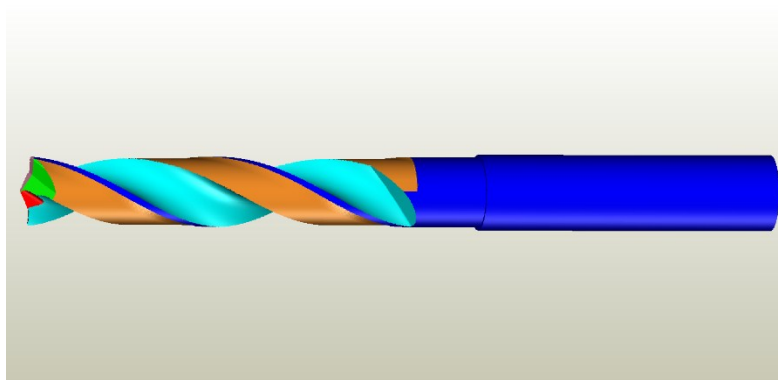
byl vybroušen rádius 0,1 mm, kvůli zvýšení stability hrany jako ochrana před odštípnutím. Další úpravou bylo nanesení povlaku TiB2 s obchodním názvem: Aluspeed. Povlak byl nanesen kvůli snížení tvorby nárůstku na břitu nástroje a odstranění nalepování třísek na tělo nástroje. Aluspeed je stříbrno – šedý povlak CC AluSpeed® byl vyvinut pro vysoko-výkonné obrábění hliníku, hliníkových a neželezných slitin. Díky své nízké afinitě k hliníku zamezuje Aluspeed do značné míry vytváření nárůstků. Extremně hladký povrch redukuje tření nástroje, dělá obrábění snazší, s plynulejším odvodem třísky. Vysoká tvrdost povlaku rovněž garantuje excelentní odolnost vůči abrazivnímu opotřebení. [5]

Tabulka č. 7 – Základní údaje o povlaku Aluspeed [5]

Typ povlaku	TiB2
Struktura povlaku	Monovrstva
Barva	Stříbrno - šedá
Mikrotvrdost [HV0,05]	4000
Maximální pracovní teplota [°C]	900



Obr. č. 34 – Rozměry vrtáku pro test č. 2 [zdroj: autor]



Obr. č. 35 – Vizualizace vrtáku pro test č. 2 [zdroj: autor]

Tabulka č. 8 – Řezné podmínky – Test č. 2 [zdroj: autor]

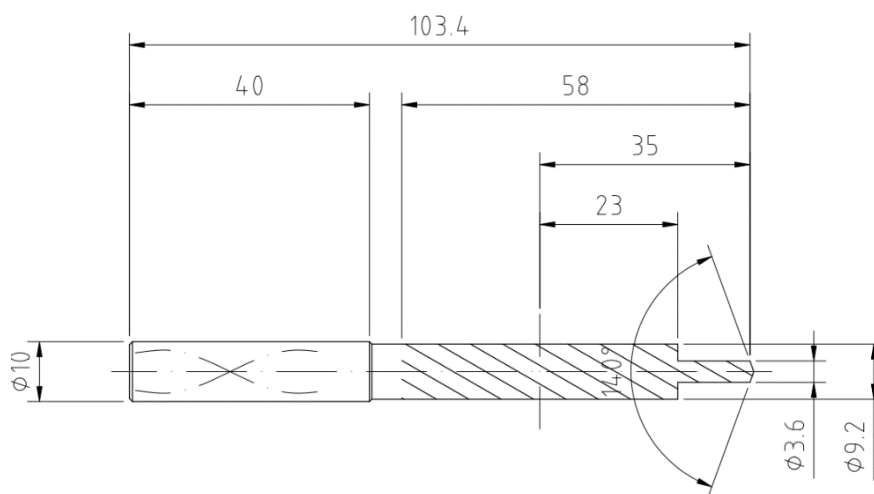
Pořadové číslo	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	145	0,2	0,15	
2.	145	0,3	0,15	Horší povrch
3.	145	0,2	0,15	
4.	145	0,2	0,7	Lepší povrch a pozice



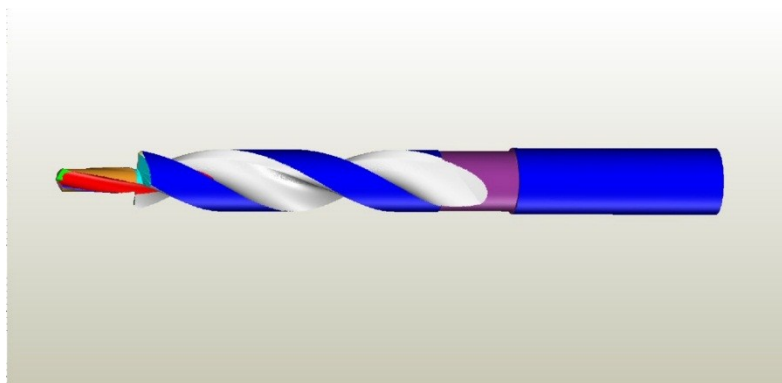
Obr. č. 36 – Otvory – Test č. 2 [zdroj: autor]

9.2.5 Test č. 3

Dalším pokusem byla dvoustupňová koncepce, kdy by se první stupeň zavrtal do plného materiálu a tím zabránit vyosení vrtáku. Původní vize byla nabrousit první stupeň na průměr 5,5 mm, což ale nebylo možné provést, jelikož by byly zasaženy chladicí kanály. Z toho důvodu, byl zvolen průměr 3,6 mm s vrcholovým úhlem špičky 140°. Bylo předpokládáno, že toto řešení není ideální a že díky malému průřezu jádra se vrták ulomí, což se bohužel potvrdilo již na druhém vrtaném otvoru.



Obr. č. 37 – Rozměry vrtáku pro test č. 3 [zdroj: autor]



Obr. č. 38 – Vizualizace vrtáku pro test č. 3 [zdroj: autor]

Tabulka č. 9 – Řezné podmínky – Test č. 3 [zdroj: autor]

Pořadové číslo	Otáčky za min. (ot./min.)	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	5000	145	0,15	0,07	
2.	5000	145	0,2	0,07	Uštipnut 1. stupeň

9.2.6 Test č. 4

V dalším pokusu byly použity nové vrtáky opět se 180° špičkou. Úprava spočívala v odstranění druhého páru vodících fazetek, aby se vrták nepřidíral. Povrch otvoru se mírně vizuálně zlepšil.

Tabulka č. 10 – Řezné podmínky – Test č. 4 [zdroj: autor]

Pořadové číslo	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	145	0,15	0,7	
2.	145	0,25	0,7	
3.	230	0,2		
4.	230	0,2	0,7	
5.	145	0,2		
6.	145	0,15		
7.	100	0,2		
8.	100	0,3		
9.	230	0,3		



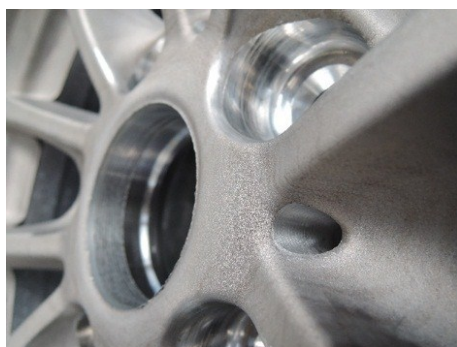
Obr. č. 39 – Vrták pro test č. 4 [zdroj: autor] **Obr. č. 40** – Otvor – Test č. 4 [zdroj: autor]

9.2.7 Test č. 5

V tomto testu se na vrtáku, kde již chyběl druhý pár fasetek s zúžil i první pár z důvodu nadějných výsledků předešlého testu. Bohužel již na druhé sérii děr se vrták na vedlejší špičce vyštípl, zřejmě kvůli oslabené fasetce, jelikož byl aplikován vysoký posuv a to 0,3 mm/ot. První série děr vykazovala vizuálně uspokojivý povrch.

Tabulka č. 11 – Řezné podmínky – Test č. 5 [zdroj: autor]

Pořadové číslo	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	145	0,2		
2.	145	0,3		Odštípnutí fasetky



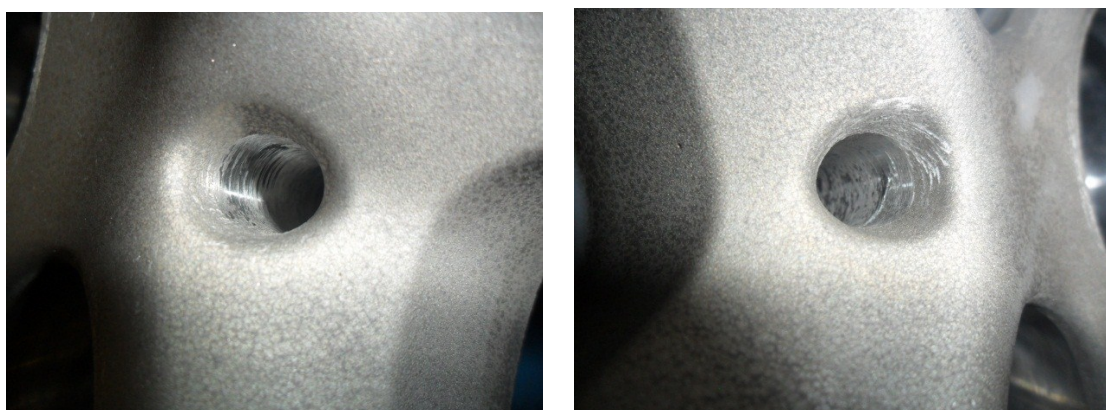
Obr. č. 41 – Otvor – Test č. 5 [zdroj: autor] **Obr. č. 42** – Vrták – odštípnutá část fasetky [zdroj: autor]

9.2.8 Test č. 6

Dále byl otestován vrták s centrovací špičkou, také pouze s jedním párem fasetek, ale standartní šířky. Bylo pozorováno přídírání vrtáků v horní části vedlejšího hřbetu.

Tabulka č. 12 – Řezné podmínky – Test č. 6 [zdroj: autor]

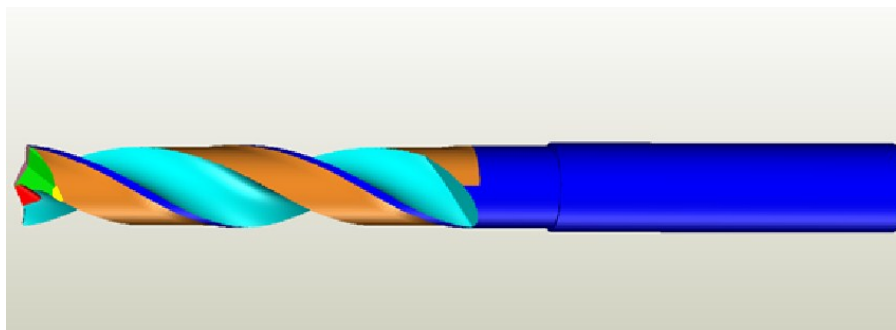
Pořadové číslo	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	160	0,3	0,03	
2.	230	0,36	0,07	
3.	230	0,2	0,07	Obrobena 2 kola
4.	320	0,3	0,07	
5.	320	0,15	0,07	
6.	115	0,15	0,07	



Obr. č. 43 – Otvory – Test č. 6 [zdroj: autor]

9.2.9 Test č. 7

Zatím poslední verzi tohoto vrtáku je vrták vycházející z předešlých 2 pokusů. Bylo provedeno odbroušení materiálu na odlehčení vedlejšího hřbetu, protože při předešlém testu docházelo k přidírání vrtáku v tomto místě. Úprava je označena na obr. č. 44 žlutou barvou. Fasetka byla zbroušena opět na poloviční šířku. Vrták vykazoval uspokojivé výsledky při otáčkách 5000 ot./min. a posuvu 0,2 mm/ot.



Obr. č. 44 – Vizualizace vrtáku pro test č. 7 [zdroj: autor]

Tabulka č. 13 – Řezné podmínky – Test č. 7 [zdroj: autor]

Pořadové číslo	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	145	0,2		Přijatelný povrch
2.	230	0,3		
3.	145	0,2		

Mělo by se pokračovat v dlouhodobějším testu, ale v současné době to nedovoluje kapacitní vytížení výroby.



Obr. č. 45 – Otvor – Test č. 7 [zdroj: autor]

9.2.10 Test č. 8 - TRITAN

V nedávné době byl vyvinut firmou MAPAL nový vrták. Jedná se o speciální tříbřitý vrták s obchodním názvem TRITAN, určený do sešikmených povrchů. Celé označení vrtáku je SCD441-0920-3-3-135HA05-HP619. Vrták má 3 chladicí kanály pro přívod chladicí kapaliny přímo na břit a byl konstruován na posuv až 0,6 mm/ot., vrták je vyroben ze slinutých karbidů sorty HP 619 a je potažen speciálním zirkonovým povlakem. Špička má vrcholový úhel 135°. Vrták byl upnut do hydrosklíčidla Iscar s kuželem HSK-A 63.



Obr. č. 46 – Vrták TRITAN [15]

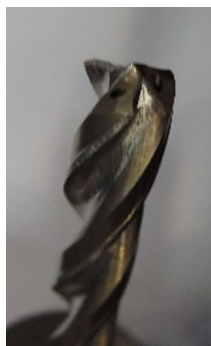
Tabulka č. 14 – Řezné podmínky – Test č. 8 [zdroj: autor]

Pořadové číslo	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	190	0,4	0,07	
2.	190	0,4		Extrémní odskoky
3.	115	0,2	0,07	Slušný povrch
4.	245	0,2	0,07	
5.	115	0,3	0,07	
6.	115	0,5	0,07	
7.	115	0,5	0,07	Výjezd 0,5 mm/ot.
8.	245	0,5	0,07	
9.	245	0,5	0,07	Výjezd 0,5 mm/ot., horší povrch
10.	115	0,2	0,15	
11.	115	0,2	0,15	
12.	85	0,2	0,15	
13.	145	0,25	0,15	

Vrták dosahoval nejlepších výsledků při řezné rychlosti 115m/min. a posuvu 0,2mm/ot. s nájezdovým posuvem 0,07mm/ot. Otázkou je jakých výsledků by dosáhl při dlouhodobém testu, jelikož již po těchto několika obrobených kolech vrták vykazoval značné opotřebení fasetek.



Obr. č. 47 – Otvor – Test č. 8 [zdroj: autor]



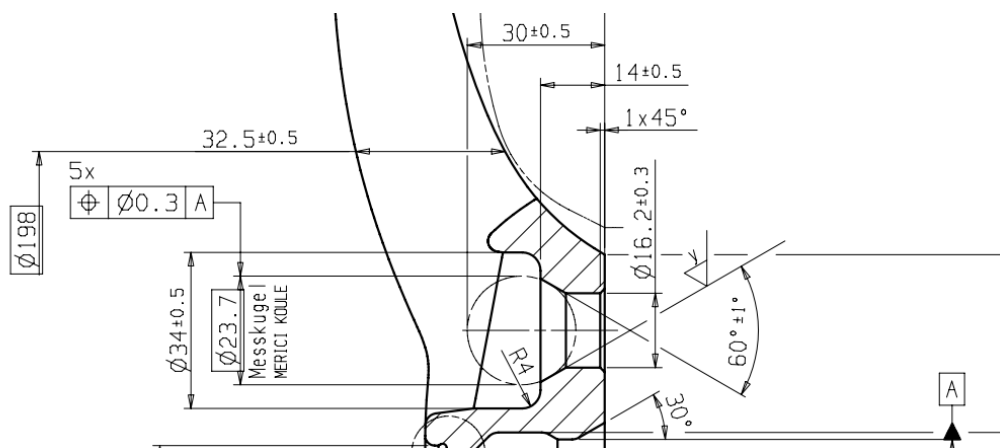
Obr. č. 48 – Opotřebení vrtáku po testu č. 8 [zdroj: autor]

9.2.11 Kontrola na 3D měřicím zařízení

U montážních otvorů se na 3D měřicím stroji kontroluje průměr vyvrtaného otvoru, který má toleranci $9,2 \pm 0,25$, což je velmi vysoká tolerance, která odpovídá stupni přesnosti téměř IT 15. V dnešní době dosahují vrtáky ze slinutých karbidů standartně přesnosti IT9 až IT8 a některé dokonce i tolerance IT7. Tato vysoká tolerance umožňuje několik přebroušení vrtáků, neboť ty se směrem k stopce zužují. Dále se kontroluje poloha otvoru s tolerancí 0,5mm. Posledním kontrolovaným tolerovaným rozměrem je roztečná kružnice jejíž průměr určují jednotlivé montážní otvory. Kružnice má jmenovitý průměr 120mm a je tolerována hodnotou $\pm 0,2$ mm. Měření se provádělo na 3D měřicím zařízení MITUTOYO Crysta-Apex S 9106, jehož parametry jsou v příloze číslo 4. Výsledky měření jsou pro kola z testu číslo 6. Z naměřených hodnot nelze vyčíst nějakou závislost na řezných podmínkách. Došlo se k závěru, že s největší pravděpodobností mají vliv na výsledné pozice deformace odlitku. Výsledky jednotlivých měření se nachází v příloze číslo 4.

9.3 Vrtání hlavních šroubových otvorů

Test vrtání hlavních šroubových otvorů se konal pouze ve firmě Hayes Lemmerz, jelikož ve firmě Cromodora byl vrták díky předběžným výpočtům vyhodnocen jako nerentabilní.



Obr. č. 49 – Detail šroubového otvoru [zdroj: autor]

9.3.1 Původní vrták

Šroubovitý tístupový vrták s vnitřním chlazením. Vrták je vyroben ze slinutých karbidů a potažen diamantovým povlakem. Vrták je upnut za válcovou (HA) stopku v hydrosklíčidle SK 40 do vřetena stroje. Vrták pracuje s parametry-otáčky 5800ot./min. a posuvem 0,22 mm/ot.. Tlak chladicí emulze je mezi 10-15 bar.

Požizovací cena vrtáku je 600 Euro. Vrták má životnost zhruba 20 000 děr a poté je většinou 5x přeastřen za 115 Euro.

$$\text{Výpočet nákladů na 1 otvor: } \frac{\text{Pořizovací cena} + (5 \times \text{cena repase})}{6 \times \text{životnost}} = \text{náklad na 1 otvor}$$

$$\frac{600 + (5 \times 115)}{120000} = 0,0097916 \text{ Euro}$$

9.3.2 Testovaný vrták

Přímý třístupňový vrták s vnitřním chlazením. Vrták je vyroben ze slinutého karbidu sorty PU 622. Na tělo vrtáku jsou napájeny břitové destičky z polykrystalického diamantu. Repase nástroje se provádí v několika krocích. Nejprve jsou staré destičky odletovány. Nové destičky se řezají na drátořezu a poté jsou napájeny na tělo nástroje. Poté jsou opět na drátořezu ořezány a v poslední fázi je nástroj broušen „na kulato“. Vrták je možná repasovat zhruba 3x. Cena repase je 55% ceny nového nástroje, což je 757 Euro. Vrták je vyvážen dle normy DIN ISO 1940-G na hodnotu 2,5G při 8000 ot./min. Vrták při testech v jiných závodech měl průměrnou životnost 150 000- 250 000 otvorů, jednou dokonce obrobil 500 000 otvorů. Pro výpočet je zvolena odhadovaná životnost 200 000 děr a pouze 2 repase.

$$\text{Výpočet nákladů na 1 otvor: } \frac{\text{Pořizovací cena} + (5 \times \text{cena repase})}{6 \times \text{životnost}} = \text{náklad na 1 otvor}$$

$$\frac{1376 + (2 \times 757)}{600\,000} = 0,004816 \text{ Euro}$$

Z výpočtu vyplývá, že náklady na obrobený otvor by mohly být téměř poloviční a to zde nejsou započítány další výhody tohoto řešení, jako je zkrácení „cycle time“, stabilita procesu, menší počet výměn atd.

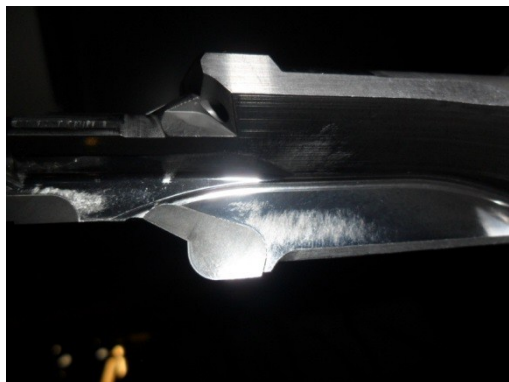
Jako optimální řezné podmínky, které vycházely z předešlých testů bylo navrhováno 6800 ot./min. a posuv 0,24 mm/ot. Tyto předpokládané podmínky byly o dost vyšší než podmínky podobně konstruovaného vrtáku od firmy Iscar, kde byly doporučovány tyto hodnoty: 4000 ot./min a posuv pouze 0,15mm/ot., což jsou výrazně nižší hodnoty než jsou standartně používány s vrtákem ze slinutých karbidů. Během testu to vypadalo,

Tabulka č. 15 – Řezné podmínky PKD vrtáku- kapalina Statoil ToolWay S 465 [6]

Pořadové číslo	Otáčky za min. (ot./min.)	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	6800	730	0,24	0,24	
2.	6800	730	0,18	0,18	
3.	5800	620	0,18	0,18	
4.	8000	855	0,24	0,24	
5.	6800	730	0,3	0,3	
6.	8000	855	0,3	0,3	
7.	8000	855	0,3	0,3	Výjezd pracovním posuvem - hladší povrch
8.	4000	425	0,15	0,15	
9.	4000	425	0,3	0,3	

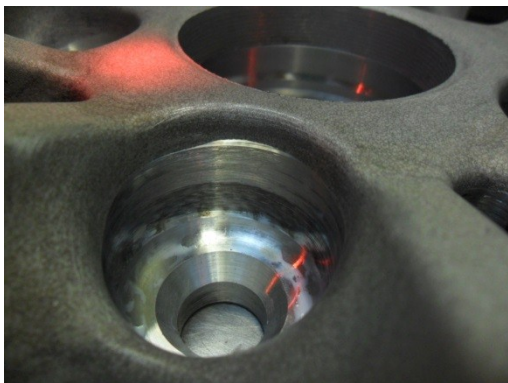


Obr. č. 51 – Otvor po testu s kapalinou Statoil ToolWay S 465 [zdroj: autor]



Obr. č. 52 – Opotřebení PKD vrtáku [zdroj: autor]

Další série testů již byla prováděna s novou polosyntetickou chladicí emulzí Cimcool Cimstar SP-5940 o koncentraci 6%. Tlak řezné kapaliny byl navýšen na 18 bar, což by mělo vést k lepšímu odvodu třísek z řezu. Při otáčkách 6800 ot./min. a posuvu 0,24 mm/ot. vykazuje vizuálně přílišnou drsnost horní polovina průměru 34 mm.



Obr. č. 53 – Otvor-730 m/min, 0,24 mm/ot. [zdroj: autor]

Při otáčkách 8000 ot./min. a posuvu 0,3mm/ot. se povrch zlepšuje.



Obr. č. 54 – Otvor- 855m/min., 0,3mm/ot. [zdroj: autor]

I když oba předchozí povrchy byly přijatelné, tak byly zvoleny pro další pokus, kvůli zvýšení životnosti nižší řezné podmínky a to konkrétně otáčky 5800 ot./min. a posuv 0,18 mm/ot.. Tyto řezné podmínky vykazovaly nejlepší povrch.



Obr. č. 55 – Otvor 620 m/min, 0,18 mm/ot. [zdroj: autor]

Při stejných řezných podmínkách byl vyzkoušen i pracovní posuv 0,5mm/ot. Místo rychloposuvu. Bylo dosaženo téměř zrcadlového povrchu. S tímto posuvem při výjezdu se v testech dále nepokračovalo, neboť by to mělo poměrně zásadní vliv na „cycle time“.



Obr. č. 56 – Otvor- výjezdový posuv 0,5mm/ot. [zdroj: autor]

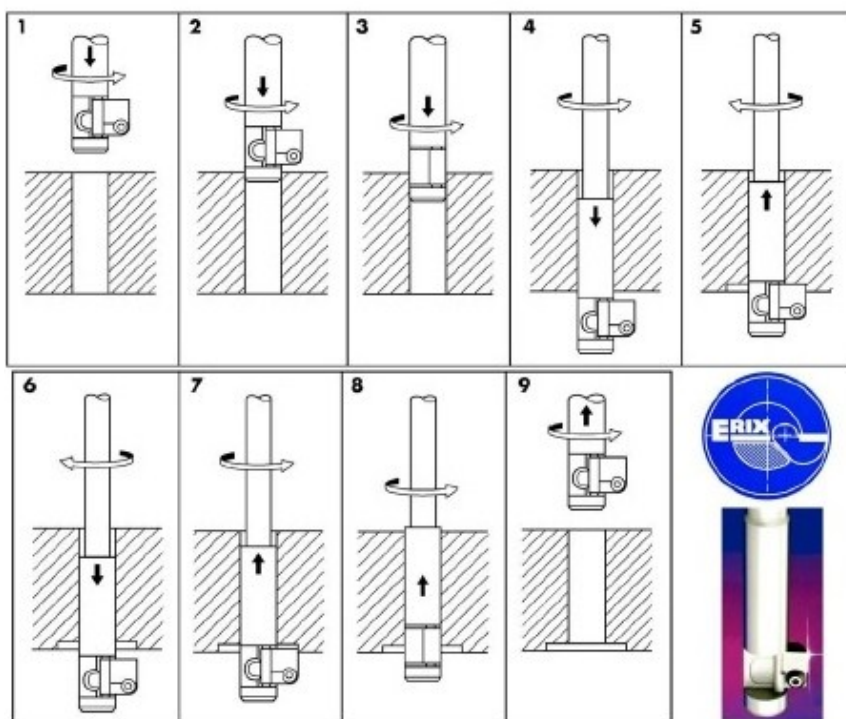
Posuv se z pracovního opět vrátil na rychloposuv a začalo se s dlouhodobým testem. Bohužel zhruba po týdně se vrták zlomil z důvodu špatného naložení kola do stroje. Vrták najel v rychloposuvech do kořene paprsku kola a zlomil se ve své střední části. V nejbližších dnech se bude objednávat nový vrták a v testech se bude pokračovat, protože dosavadní výsledky byly nadějné.

Tabulka č. 16 – Řezné podmínky PKD vrtáku- kapalina Cimcool Cimstar SP-5940

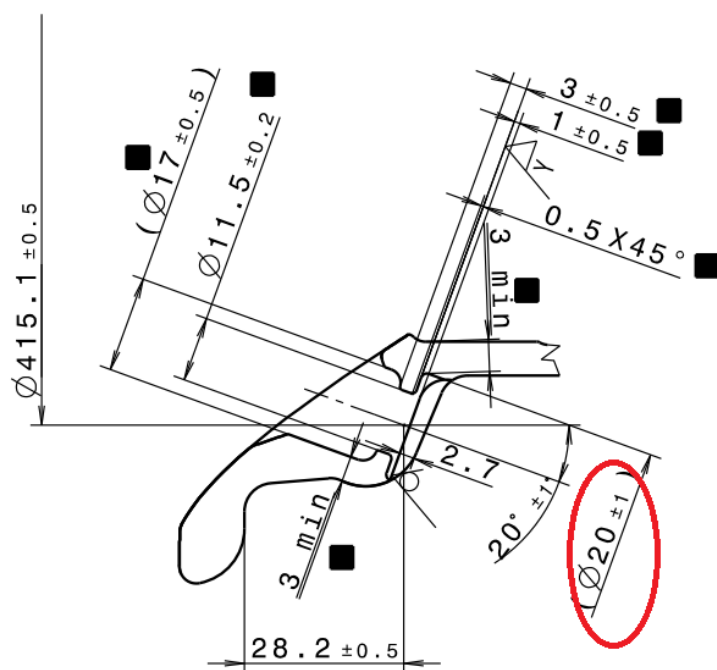
Pořadové číslo	Otáčky za min. (ot./min.)	Řezná rychlost (m/min.)	Posuv na otáčku (mm/ot.)	Posuv na otáčku (mm/ot.) při nájezdu	Poznámka
1.	6800	730	0,24		
2.	8000	855	0,3		
3.	5800	620	0,18		Vyhovující povrch
4.	5800	620	0,18	0,5	Zrcadlový povrch - delší cycle time
5.	5800	620	0,18		

9.4 Obrábění ventilku

Pro srážení hrany ventilku se používá klasické stopkové frézy. Nevýhodou je, že se musí celý stůl pootočit o 270°. Pro zkrácení „cycle time“ navrhuji použití zpětného záhlubníku se sklopným ramenem s vyměnitelnou břitovou destičkou.



Obr. č. 57 – Princip funkce zpětného záhlubníku



Obr. č. 58 – Detail ventilkového otvoru [zdroj: autor]

10 ZÁVĚR

Cílem práce bylo zefektivnění procesu výroby kol z lehkých slitin v prostředí firem Cromodora wheels s. r. o. a Hayes Lemmerz Czech, s. r. o. Práce se soustředila hlavně na obrábění šroubových a montážních otvorů litých kol. Vycházelo se ze zavedeného strojového parku, na kterém se testovaly nástroje s inovativními geometriemi a také velmi výkonným polykrystalickým diamantem. Při testech se vycházelo i z připomínek technologů z daných firem, kteří mají mnohaleté zkušenosti s tímto výrobním procesem, a již také podnikli nespočet testů. Práce byla strukturována do několika na sebe navazujících kapitol. V počátečních kapitolách se práce věnovala obecně problematice třískového obrábění a poté přes kapitolu věnující se slitinám hliníku přešla do praktické části, kde byl popsán proces výroby litých kol a popsány testy nových vrtáků na šroubové a montážní otvory.

Bylo vyzkoušeno několik geometrií vrtáků na montážní otvory, které vycházely původně z dvojbřitého šroubovitého vrtáku ze slinutých karbidů disponujícího 180° špičkou a 4 fasetkami. Po několika testech se dospělo k úpravě, která vykazuje nadějně výsledky, ale ještě nebyla z kapacitních důvodů dlouhodobě testována. Úprava spočívala v úplném odstranění druhého páru fasetek a zúžení prvního páru na polovinu původní šířky. Dále byla dobroušena centrovací špička a vybroušen rádius 0,15mm na vnější špičce vrtáku. Vrták byl opatřen povlakem TiB2 s obchodním názvem AluSpeed. Dále byl poměrně úspěšně testován vrták na šroubové otvory s napájenými břitovými destičkami z polykrystalického diamantu, který má nahradit vrták ze slinutých karbidů. Vrták vykazoval vysokou jakost obrobeného povrchu, ale z důvodu jeho zlomení, kvůli špatně naloženému obrobku nemohl zatím absolvovat dlouhodobý test. V současné době se čeká na dodání druhého kusu.

Tato práce může mít přínos pro spolupracující firmy, pokud se rozhodnou dále vrtáky testovat i s jinými institucemi, aby se vyvarovali již otestovaným nevhodným řešením. Práce může také posloužit jako studijní materiál pro nové zaměstnance pro prvotní letmé seznámení s výrobou litých kol. Přeji spolupracujícím firmám, aby si stále udržovali vysokou jakost výroby a nepolevovali v procesu zefektivňování výroby, protože jediné tak mohou obstát ve světové konkurenci a pomohou zlepšovat úroveň zaměstnanosti v našem problematickém regionu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 2. díl*. Ostrava: Ediční středisko VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2008. s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SLADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: Ediční středisko VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2008. s. 256. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
- [3] MICHNA, Š.; LUKÁČ, I.; OČENÁŠEK, V.; KOŘENÝ, R.; DRÁPALA, J.; SCHINEIDER, H.; MIŠKUFOVÁ, A. A KOL. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions. 2005. ISBN 80-890-4188-4
- [4] AB SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. České vydání. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972-2994-6
- [5] CC AluSpeed®, Ceme Con. [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.cemecon.cz/povlakovani/cc-aluspeed.aspx>
- [6] Značková maziva CZ. [online]. [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.znackovamaziva.cz/e-shop/prumyslove-oleje/prumysl/rezne-kapaliny/s-toolway-s-465-20l/>
- [7] FOREJT, M.; PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [8] GARANT příručka obrábění. Obj. č. 11 0959, vyd. kat. 24. 2006
- [9] MICHNA, Š. *Rozdělení Al slitin do skupin* [online]. [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: http://www.stefanmichna.com/download/technickematerilyII/rozdeleniAL_slitin.pdf
- [10] GRAEVE, I.; HIRSCH, J. *Wrought Aluminium Alloys*. European aluminium association. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=214&pageid>
- [11] SLOVACKO [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: https://www.email.cz/download/i/6N4REjfPDqii1h680oXnNEIvPIA3Bhc_M9PPLC7XTKKt-UpB9EQYJDNGtYi_UkGUel7NoOY/rs_2004_slovalco.pdf
- [12] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 1. díl*. Ostrava: Ediční středisko VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2007. s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8
- [13] ANTON, H. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha 10: MM publishing, s. r. o. 2008. s. 235. ISBN 978-80-254-2250-2
- [14] ZEMČÍK, O. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. 2003. s. 193. ISBN 80-2147-2336-6

- [15] Tritan –Drill, MAPAL. [online]. [cit. 2014-04-20].
Dostupné z: <http://www.mapal.com/cz/novinky/novinky-a-udalosti/tritan-drill/>
- [16] CROMODORA WHEELS s. r. o. [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:
<http://iszp.kr-moravskoslezsky.cz/assets/temata/ippc/files/cromodora---zarizeni-na-vyrobu-litych-hlinikovych-kol.pdf>
- [17] Mega-Drill_Alu, MAPAL. [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:
http://www.mapal.com/fileadmin/00_PDFDateien/Kataloge/en/MAPAL_Competence_Solid_carbide_tools_en.pdf
- [18] ŠKOPEČEK, T., VODIČKA, J., PAHL, J. P., HERKNER V., *Základy vysokorychlostního obrábění - HSC*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, c2005, ISBN 80-704-3344-2.
- [19] BARÁNEK, I., ŠANDORA, J., *Výroba vybraných súčiastok špeciálnej techniky*. 1. vyd. Trenčín: Vydavateľstvo TnUAD, 2004, ISBN 80-8075-017-3.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1- Pohyby nástroje a obrobku při podélném soustružení a nesousledném rovinném frézování válcovou frézou s přímými zuby.....	4
Obr. č. 2 - Hlavní a posuvový pohyb u vybraných metod obrábění.....	4
Obr. č. 3 – Základní parametry šroubového vrtáku.....	11
Obr. č. 4 – Způsoby podbroušení hřbetních a šroubovitých ploch.....	12
Obr. č. 5 – Tavicí pec, pánev, odplynovací zařízení	20
Obr. č. 6 – Prostor pro nakládání kol	22
Obr. č. 7 – Robot.....	22
Obr. č. 8 – Schéma upnutí kola při soustružení (hrubování)	22
Obr. č. 9 – Upnuté ohrubované kolo	22
Obr. č. 10 – Rozsah pohybu-kroužkované u soustružnického centra.....	23
Obr. č. 11 – Schéma upnutí kola ve vyvrtávacím centru	24
Obr. č. 12 – Upnuté kolo ve vyvrtávacím centru	24
Obr. č. 13 – Schéma upnutí kola při soustružení (dokončování)	24
Obr. č. 14 – Upínací přípravek.....	25
Obr. č. 15 – Zařízení Rapid 2000.....	25
Obr. č. 16 – Kontrolní panel Rapidu 2000.....	25
Obr. č. 17 – Kontrola rozměru 72,5E8 kalibrem.....	25
Obr. č. 18 – Kontrola rozměru 72,5E8 dutinoměrem.....	25
Obr. č. 19 – Pračka.....	26
Obr. č. 20 – „Leak Test“	26
Obr. č. 21 – Kartáčovací kotouče.....	27
Obr. č. 22 – Automatická kartáčovací centra	27
Obr. č. 23 – Dopravník lakovny.....	27
Obr. č. 24 – Lité kolo z hliníkové slitiny	30
Obr. č. 25 – Detail servisního otvoru	31
Obr. č. 26 – Servisní a šroubový otvor.....	31
Obr. č. 27 – Výkresový detail servisního otvoru.....	32
Obr. č. 28 – Vrták Mega-Drill-Alu-180°.....	34
Obr. č. 29 – Vrták vyštípnutá řezná hrana	34
Obr. č. 30 – Rozměry vrtáku SCD 24	35
Obr. č. 31 – Otvory – Test č. 1.....	35
Obr. č. 32 – Stav vrtáku po testu č. 1.....	35
Obr. č. 33 – Zalepení fasetka	35
Obr. č. 34 – Rozměry vrtáku pro test č. 2	36
Obr. č. 35 – Vizualizace vrtáku pro test č. 2	36

Obr. č. 36 – Otvory – Test č. 2.....	37
Obr. č. 37 – Rozměry vrtáku pro test č. 3	37
Obr. č. 38 – Vizualizace vrtáku pro test č. 3	38
Obr. č. 39 – Vrták pro test č. 4.....	39
Obr. č. 40 – Otvor – Test č. 4.....	39
Obr. č. 41 – Otvor – Test č. 5.....	39
Obr. č. 42 – Vrták – odštipnutá část fasetky	39
Obr. č. 43 – Otvory – Test č. 6.....	40
Obr. č. 44 – Vizualizace vrtáku pro test č. 7	40
Obr. č. 45 – Otvor – Test č. 7.....	41
Obr. č. 46 – Vrták TRITAN.....	41
Obr. č. 47 – Otvor – Test č. 8.....	42
Obr. č. 48 – Opatření vrtáku po testu č. 8	42
Obr. č. 49 – Detail šroubového otvoru.....	43
Obr. č. 50 – Vrták s pájenými PKD plátky	45
Obr. č. 51 – Otvor po testu s kapalinou Statoil ToolWay S 465.....	46
Obr. č. 52 – Opatření PKD vrtáku	46
Obr. č. 53 – Otvor-730 m/min, 0,24 mm/ot.	47
Obr. č. 54 – Otvor- 855m/min., 0,3mm/ot.	47
Obr. č. 55 – Otvor 620 m/min, 0,18 mm/ot.....	47
Obr. č. 56 – Otvor- výjezdový posuv 0,5mm/ot.	48
Obr. č. 57 – Princip funkce zpětného záhlubníku	49
Obr. č. 58 – Detail ventilkového otvoru.....	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 - Rozdělení obráběných materiálů do jednotlivých skupin SK	8
Tabulka č. 2 – Chemické složení slitin hliníku	20
Tabulka č. 3 – Stávající řezné podmínky – Cromodora	32
Tabulka č. 4 – Stávající řezné podmínky – Hayes Lemmerz	33
Tabulka č. 5 – Doporučené řezné podmínky - vrták MAPAL	33
Tabulka č. 6 – Řezné podmínky – Test č. 1	35
Tabulka č. 7 – Základní údaje o povlaku Aluspeed	36
Tabulka č. 8 – Řezné podmínky – Test č. 2	37
Tabulka č. 9 – Řezné podmínky – Test č. 3	38
Tabulka č. 10 – Řezné podmínky – Test č. 4	38
Tabulka č. 11 – Řezné podmínky – Test č. 5	39
Tabulka č. 12 – Řezné podmínky – Test č. 6	40
Tabulka č. 13 – Řezné podmínky – Test č. 7	41
Tabulka č. 14 – Řezné podmínky – Test č. 8	42
Tabulka č. 15 – Řezné podmínky PKD vrtáku- kapalina Statoil ToolWay S 465	46
Tabulka č. 16 – Řezné podmínky PKD vrtáku- kapalina Cimcool Cimstar SP-5940	48

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha číslo 1 - Technické údaje OKUMY 2SP-V60

Příloha číslo 2 - Graf parametrů soustružnického centra

Příloha číslo 3 - Ukázky nástrojů do soustružnického centra

Příloha číslo 4 - Technické parametry MITUTOYO Crysta-Apex S 9106

Příloha číslo 5 - Technické parametry robota FANUC M-410iB/160

Příloha číslo 6 - Výsledky měření kol z testu 6